



TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

Anorgaanilise keemia kateeder

ÜLESANDEID KOLLOIDKEEMIAST

Aksel Koorits

TARTU 1986

Kinnitatud füüsika-keemiatsaduskonna nõukogus 22. mail 1985.a.

Õppematerjal "Ülesandeid kolloidkeemiast" on kasutatav kõikidel erialadel, mille programmis on kolloidkeemia või füüsikaline ja kolloidkeemia. Ülesannete kogu, kokku 179 ülesannet, milledest 19 on esitatud lahendatud kujul näidisülesannetena, abistab üliõpilasi kolloidkeemia kursuse omandamisel.

ЗАДАЧИ ПО КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ.
Составитель Алексей Кооритс.
На эстонском языке.
Тартуский государственный университет.
ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Ülikooli, 18.
Vastutav toimetaja V. Loodmaa.
Korrektor L. Jago.
Paljundamisele antud 26.12.1985.
Formaat 60x84/16.
Rotaatoripaber.
Masinakiri. Rotaprint.
Tingtrükipoognaid 3,02.
Arvestuspooonaid 2,72. Trükipoognaid 3,25.
Trükiarv 500.
Teil. nr. 1295.
Hind 10 kop.
TRÜ trükikoda. ENSV, 202400 Tartu, Pälsoni t. 14.

I. PINDNÄHTUSED JA ADSORPTSIOON

Dispergeeritud süsteeme iseloomustab suur faasidevaheline piirpind, mille mõõduks on eripind, s.o. pindala suhe ruumalasse.

$$s_o = \frac{S}{V} . \quad (I, 1)$$

Kerakujuliste osakeste korral

$$s_o = \frac{3}{r} \quad (I, 2)$$

ja kuubikujuliste osakeste korral

$$s_o = \frac{6}{l} . \quad (I, 3)$$

Faasidevahelist piirpinda iseloomustavaks suuruseks on ka pindpinevus, s.o. pinna vabaenergia pinnaühiku kohta. Pindpinevust võib määrata kas stalagmomeetrilisel või Reh-binderi (mullikeste suurima rõhu) meetodil.

Stalagmomeetrilisel meetodil

$$\sigma_x = \sigma_o \frac{n_o \cdot d_x}{n_x \cdot d_o} , \quad (I, 4)$$

kus n_o, n_x - standardvedeliku ja mõõdetava vedeliku tilkade arvud;

d_o, d_x - standardvedeliku ja mõõdetava vedeliku tihedused;

σ_o, σ_x - standardvedeliku ja mõõdetava vedeliku pindpinevused.

Rehbinderi meetodil

$$\sigma_x = A \cdot p_x , \quad (I, 5)$$

kus p_o, p_x - rõhk, mis on vajalik mullikese surumiseks läbi standard- või mõõdetava vedeliku piirpinna;

A - aparatuuri konstant $A = \sigma_0 : p_0$.

Pindaktiivse aine lahuses sõltub pindpinevus suurel määral aine kontsentratsioonist lahuses ning on arvutatav Szyskowi vörrandist

$$\sigma_0 - \sigma = b \cdot \ln(1 + \frac{c}{\alpha}), \quad (I, 6)$$

kus c - lahuse molaarne kontsentratsioon;

b, α - empiirilised konstandid.

Adsorptsiooni suurust võime arvutada, lähtudes kas Gibbsi, Langmuiri või Freundlichi vörrandist:

$$\Gamma = - \frac{c}{RT} \cdot \frac{d}{dc}, \quad (I, 7)$$

$$\Gamma = \Gamma_{\max} \cdot \frac{c}{\alpha + c}; \quad \Gamma = \Gamma_{\max} \cdot \frac{p}{\alpha + p}, \quad (I, 8)$$

$$X = a \cdot c^{\frac{1}{n}}, \quad X = a \cdot p^{\frac{1}{n}}, \quad (I, 9)$$

kus Γ - adsorbeerunud aine hulk pinnaühiku kohta;

Γ_{\max} - adsorbeerunud aine hulk pinna täielikul külastumisel;

X - adsorbeerunud aine hulk adsorbendi massiühiku kohta;

a, n - empiirilised konstandid.

Empiirilisi konstante Freundlichi vörrandis (I, 9) saab määrata graafiliselt sõltuvusest $\log X = f(\log c)$. Kui Langmuiri vörrand (I, 8) väljendada sõltuvusena $\frac{1}{\Gamma} = f(\frac{1}{c})$, võime viimasest leida Γ_{\max} . Viimast teades võime arvutada pinna, mille võtab enda alla üks molekul adsorptsioonikihis (s_0), ja adsorbeerunud molekuli ahela pikkuse (l_0)

$$s_0 = \frac{1}{\Gamma_{\max} \cdot N_A} = \frac{1,661}{\Gamma_{\max}} \cdot 10^{-27} \text{ (m}^2\text{)}, \quad (I, 10)$$

$$l_0 = \frac{\Gamma_{\max} \cdot M}{d} \text{ (m)}, \quad (I, 11)$$

kus M - adsorbeerunud aine molekulmass;

d - adsorbeerunud aine tihedus ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Adsorptsioonisoost (Q_a) võime arvutada seosest

$$Q_a = \frac{R \cdot T_2 \cdot T_1}{T_2 - T_1} \ln \frac{p_2}{p_1}, \quad (I, 12)$$

kus p_1 , T_1 ja p_2 , T_2 on rõhud ja temperatuurid, millel adsorbeeruva aine hulk on Γ .

Vahetusadsorptsiooni ioonidil iseloomustab Nikolski võrrand

$$\frac{1}{x_1} : \frac{1}{x_2} = K \left(\frac{1}{c_1} : \frac{1}{c_2} \right), \quad (I, 13)$$

kus x_1 ja x_2 - ioonidil adsorbeerunud ioonide hulgad moolides,

c_1 ja c_2 - ioonide tasakaalukontsentratsioonid,

x_1 ja x_2 - ioonide laengud.

Näide 1. Hõbeda hüdrosoolis on osakesed kuubikujulised, serva pikkusega $4 \cdot 10^{-2}$ m. Kui palju osakesi saab $1 \cdot 10^{-4}$ kg hõbedast ning milline on nende summaarne pind, kui hõbeda tihedus on $10,5 \cdot 10^3$ kg.m⁻³.

Lahendus.

1. Arvutame kuubikujulise osakese pindala ja ruumala:

$$s = 6 \cdot l^2 = 6 \cdot (4 \cdot 10^{-8})^2 = 96 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2,$$

$$V = l^3 = (4 \cdot 10^{-8})^3 = 64 \cdot 10^{-24} \text{ m}^3.$$

2. Arvutame ühe osakese massi:

$$m = V \cdot d = 64 \cdot 10^{-24} \cdot 10,5 \cdot 10^3 = 6,72 \cdot 10^{-19} \text{ kg}.$$

3. Arvutame tekkivate osakeste arvu:

$$N = 1 \cdot 10^{-4} : 6,72 \cdot 10^{-19} = 1,488 \cdot 10^{14}.$$

4. Summaarne pindala

$$S = 1,488 \cdot 10^{14} \cdot 96 \cdot 10^{-16} = 1,428 \text{ m}^2.$$

Näide 2. Arvutada aniliini pindpinevus, kui õhumullikese surumiseks läbi pindkihi oli vajalik rõhk 711,5 N.m⁻², puhta vee korral ($\sigma = 72,55 \cdot 10^{-3}$ N.m⁻¹) oli aga vajalik rõhk 1182 N.m⁻².

Lahendus.

Lähtudes võrrandist (I, 5), võime kirjutada:

$$\sigma = \sigma_0 (p_x : p_0) = 72,55 \cdot 10^{-3} (711,5 : 1182) = 43,67 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}.$$

Näide 3. Arvutada 0,8 M propaanhappelahuse pindpinevus, kui Szyszkowski võrrandi konstandid $b = 14,0 \cdot 10^{-3}$ ja $\alpha = 0,25$ ning puhta vee pindpinevus on $72,55 \cdot 10^{-3}$ N.m⁻¹.

L a h e n d u s .

Lähtudes võrrandist (I, 6), võime kirjutada:

$$\sigma = 72,55 \cdot 10^{-3} - 14,0 \cdot 10^{-3} \ln(1 + \frac{0,8}{0,25}) = 52,46 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}.$$

N ä i d e 4. Arvutada eelmises ülesandes vaadeldud lahuses (temperatuur 20 °C) adsorptsiooni suurus piirpinnal lahus-õhk.

L a h e n d u s .

Lähtudes võrrandist (I, 7), võime kirjutada

$$\begin{aligned} \Gamma &= - \frac{c}{RT} \left(\frac{6_2 - 6_1}{c_2 - c_1} \right) = \\ &= - \frac{0,8}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 293} \frac{52,46 \cdot 10^{-3} - 72,55 \cdot 10^{-3}}{0,8} = \\ &= 8,25 \cdot 10^{-9} \text{ kmol.m}^{-2}. \end{aligned}$$

N ä i d e 5. Pentanoolilahuses on $\Gamma_{\text{max}} = 7 \cdot 10^{-9} \text{ kmol.m}^{-2}$. Arvutada pindala, mille võtab enda alla üks molekul ja adsorbeerunud molekuli ahela pikkus, kui pentanooli tihedus on $8,12 \cdot 10^2 \text{ kg.m}^{-3}$.

L a h e n d u s .

1. Arvutame seosest (I, 10) pindala, mille võtab enda alla üks molekul adsorptsioonikihis

$$s_0 = \frac{1,661 \cdot 10^{-27}}{7 \cdot 10^{-9}} = 2,37 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2.$$

2. Arvutame seoses (I, 11) adsorbeerunud molekuli ahela pikkuse:

$$l_0 = \frac{7 \cdot 10^{-9} \cdot 88,16}{8,12 \cdot 10^2} = 7,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

N ä i d e 6. Gaasimaski kurn sisaldab 85 g adsorbenti, kusjuures 1 g adsorbenti on võimeline adsorbeerima $0,5 \text{ dm}^3 \text{ NO}_2$ (normaaltingimustel). Kui kaua (min) võib viibida selist gaasimaski kandev inimene samadel tingimustel ruumis, mis sisaldab 20 g NO_2 1 m^3 õhus, kui tema õhutarvidus on 30 dm^3 minutis.

L a h e n d u s .

1. Arvutame gaasimaskis adsorbeeruva NO_2 hulga:

$$85,0,5 = 42,5 \text{ dm}^3$$

$$\text{ehk } 42,5 : 22,4 = 1,897 \text{ mooli}$$

$$\text{ehk } 1,897 \cdot 46 = 87,26 \text{ g.}$$

2. Arvutame õhu hulga, milles sisaldub selline kogus NO_2 :

$$87,26 : 20 = 4,363 \text{ m}^3.$$

3. Arvutame võimaliku ruumis viibimise aja:

$$4,363 : 0,03 = 145,4 \text{ min.}$$

Ü l e s a n d e d

1. Hõbeda hüdrosoolis on osakesed kuubikujulised, serva pikkusega 15 nm. Arvutada eripind.

2. Väävli hüdrosoolis on osakeste läbimõõt 30 nm. Arvutada eripind.

3. 1 g väävli peenendamisel saadi kerakujulised osakesed läbimõõduga 20 nm. Arvutada osakeste summaarne pind (m^2), kui väävli tihedus on $2,07 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

4. Elavhõbeda hüdrosoolis on kerakujulised osakesed läbimõõduga $6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$. Kui suur on $0,5 \text{ cm}^3$ elavhõbedast saadavate osakeste summaarne pind (m^2).

5. Hõbeda kolloidlahuses on osakesed kuubikujulised, serva pikkusega $2 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$. Mitu kolloidosakest saab 100 mg hõbedast ning milline on nende osakeste summaarne pind (m^2), kui hõbeda tihedus on $10,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$?

6. Mitu korda suureneb pind, kui hõbeda kuup, serva pikkusega 0,5 cm, peenendada kuupideks, serva pikkusega 50 nm.

7. Mastiksi kolloidlahus sisaldab 1 cm^3 lahuses $2 \cdot 10^8$ kerakujulist osakest diameetriga $1 \mu\text{m}$. Kui suur on osakeste kogupind 200 cm^3 lahuses.

8. Pindpinevuse määramisel stalagmomeetriga saadi vee korral 48 tilka, heksaani korral 126 tilka. Arvutada hek-

saani pindpinevus, kui vee pindpinevus on $73,26 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ ja heksaani tihedus $6,6 \cdot 10^2 \text{ kg.m}^{-3}$.

9. Lahuste pindpinevuse määramisel stalagmomeetriga saadi järgmised andmed:

Jrk. nr.	Lahus	Til- kade arv	Jrk. nr.	Lahus	Til- kade arv
1	0,4 M isobutanool	140	7	20-% NaOH, $d=1,22 \cdot 10^3$	70
2	0,3 M butanool	125	8	0,5-% saponiin	82
3	0,5 M propanool	130	9	2 M etanool	97
4	0,2 M pentanool	144	10	0,4 M butaanhape	148
5	0,5 M fenool	110	11	0,2 M pentaanhape	105
6	1 M H_2SO_4 , $d=1,06 \cdot 10^3$	75	12	0,5 M propaanhape	90

Arvutada lahuste pindpinevused, kui vee pindpinevus on $72,3 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ ja vee korral saadi 80 tilka.

10. Pindpinevuse määramisel Rehbinderi meetodil saadi järgmised andmed:

Jrk. nr.	Vedelik	Mano- meetri näit N.m^{-2}	Jrk. nr.	Lahus	Mano- meetri näit N.m^{-2}
1	Etanool	144	6	0,4 M butanool	291
2	Aniliin	278	7	0,6 M propanool	336
3	Benseen	187	8	40-% sahharoos	479
4	Oliivõli	224	9	35-% NaOH	645
5	Hg	3235	10	22-% HNO_3	462

Arvutada pindpinevus, kui vee pindpinevus on $72,3 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ ning vee korral on õhumullikese surumiseks läbi piirpinna vesi-õhk vajalik rõhk 471 N.m^{-2} .

11. Propanoolilahuses on Szyszkowski võrrandi konstant $b = 14,4 \cdot 10^{-3}$ ja $\alpha = 0,152$. Arvutada $0,75 \text{ M}$ lahuse pindpinevus, kui vee pindpinevus on $72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$.

12. Pentaanhappelahuses on Szyszkowski võrrandi kons-

tandid $b = 14,7 \cdot 10^{-3}$ ja $\alpha = 0,1$. Arvutada, millisel kontsentratsioonil on lahuse pindpinevus $52,1 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$, kui vee pindpinevus on sama mis ülesandes 11.

13. Butaanhappelahuses on Szyszkowski võrrandi konstantid $b = 12,5 \cdot 10^{-3}$ ja $\alpha = 0,13$. Arvutada $0,4 \text{ M}$ lahuse pindpinevus, kui vee pindpinevus on sama mis ülesandes 11.

14. Millisel pindaktiivse aine kontsentratsioonil lahuse pindpinevus $52,1 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$, kui vee pindpinevus on sama mis ülesandes 11 ning $\sigma_o - \sigma = 16,7 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 21,5 c)$?

15. Arvutada temperatuuril 15°C pentaanhappe adsorptsioon (kmol.m^{-2}) piirpinnal lahus-õhk, lähtudes järgmistest andmetest:

Lahuse kontsentratsioon kmol.m^{-3}	0,000	0,0312	0,150	0,250
Lahuse pindpinevus $\text{N.m}^{-1} \cdot 10^3$	73,5	57,5	42,0	35,0

16. Arvutada temperatuuril 20°C fenooli adsorptsioon (kmol.m^{-2}) piirpinnal lahus-õhk, lähtudes järgmistest andmetest:

Lahuse kontsentratsioon kmol.m^{-3}	0,000	0,0156	0,0625	0,1
Lahuse pindpinevus $\text{N.m}^{-1} \cdot 10^3$	72,8	58,2	43,3	38,0

17. Arvutada temperatuuril 20°C adsorptsioon (kmol.m^{-2}) 20%-lise NaOH-lahuse ja õhu piirpinnal, kui lahuse pindpinevus on $101,2 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ ja vee pindpinevus $72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$.

18. Arvutada temperatuuril 20°C adsorptsioon (kmol.m^{-2}) $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ -lahuse ja õhu piirpinnal, kui lahuse pindpinevus on $81,7 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ ning vee pindpinevus on sama mis ülesandes 17.

19. Arvutada temperatuuril 273°K butanooli adsorptsiooni suurus piirpinnal lahus-õhk kontsentratsioonil

$0,1 \text{ kmol.m}^{-3}$, kui pindpinevuse sõltuvus kontsentratsioonist on väljendatav seosega:

$$6_0 - 6 = 16,7 \cdot 10^{-3} \ln (1 + 21,5 c) .$$

Vee pindpinevus on $75,5 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$.

20. Arvutada temperatuuril 15°C atsetooni adsorptsiooni suurus piirpinnal lahus-õhk, kui lahus sisaldab 29 g atsetooni 1 dm^3 lahuses ning lahuse pindpinevus on $59,4 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$. Vee pindpinevus on $73,49 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$.

21. Etanahappe adsorptsioonil puusõel saadi järgmised andmed (1 g sõe kohta):

Lahuse algkontsentratsioon kmol.m^{-3}	0,588	0,963	1,400	2,599
Tasakaaluline kontsentratsioon kmol.m^{-3}	0,086	0,141	0,200	0,359

Määrata Freundlichi võrrandi konstandid.

22. Propaanhappe adsorptsioonil veresõel saadi järgmised andmed (1 g sõe kohta):

Lahuse algkontsentratsioon kmol.m^{-3}	0,030	0,120	0,46	0,917
Tasakaaluline kontsentratsioon kmol.m^{-3}	0,004	0,016	0,35	0,794

Määrata Freundlichi võrrandi konstandid.

23. Atsetooni adsorptsiooni uurimisel puusõel saadi järgmised andmed:

Atsetooni kontsentratsioon lähtelahuses mol.m^{-3}	2,34	14,65	88,62	177,69
Adsorbeerunud atsetooni hulk mol.kg^{-1}	0,208	0,618	1,50	2,08

Arvutada, lähtudes Freundlichi võrrandist, 1 kg söel adsorbeerunud aine hulk, kui lähtelahuses on atsetooni kontsentratsioon 100 mol.m^{-3} .

24. Kasutades Langmuiri võrrandit, arvutada 1 kg tseoliidil adsorbeeruv lämmastiku hulk, kui rõhk on $2,8 \cdot 10^2 \text{ Pa}$ ja $\Gamma_{\text{max}} = 3,9 \cdot 10^{-2} \text{ kg.kg}^{-1}$ ning $\alpha = 640$.

25. Kasutades Langmuiri võrrandit, arvutada adsorptsiooni suurus piirpinnal $0,2 \text{ M}$ lahus - õhk, kui $\Gamma_{\text{max}} = 8,7 \cdot 10^{-9} \text{ kmol.m}^{-2}$ ja $\alpha = 0,025$.

26. Pindaktiivse aine lahuses on $\Gamma_{\text{max}} = 5,8 \cdot 10^{-9} \text{ kmol.m}^{-2}$. Arvutada pind, mille võtab enda alla 1 molekul adsorptsioonikihis ja adsorbeerunud molekuli ahela pikkus, kui adsorptiivi molekulmass on 74 ja tihedus $8,3 \cdot 10^2 \text{ kg.m}^{-3}$.

27. Adsorptsioonikihis on molekuli ahela pikkus $7,08 \text{ \AA}$. Arvutada pind, mille võtab enda alla 1 molekul adsorptsioonikihis, kui adsorptiivi molekulmass ja tihedus on samad mis ülesandes 26.

28. Adsorptsioonikihis võtab 1 molekul enda alla pinna 30 \AA^2 . Arvutada adsorbeerunud molekuli ahela pikkus, kui adsorptiivi molekulmass ja tihedus on samad mis ülesandes 26.

29. 1 g aktiivsöe pind on 1000 m^2 . Milline ruumala NH_3 (normaaltingimustel) võib adsorbeeruda pinna täielikul külastumisel, kui üks NH_3 molekul täidab pinna $2 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$.

30. 1 g aktiivsütt adsorbeerib $44,8 \text{ cm}^3$ fosgeeni (normaaltingimustel). Arvutada pindala, mille võtab enda alla fosgeeni molekul, kui 1 g söe pindala on 750 m^2 .

31. Arvutada 1 g söe pindala, kui sellel adsorbeerub $33,6 \text{ cm}^3$ gaasi (normaaltingimustel), mille molekul võtab enda alla 50 \AA^2 .

32. 1 g silikogeeli aktiivne pind on 465 m^2 . Mitu milligrammi Br_2 adsorbeerub 10 g silikogeelil, kui üks broomi molekul võtab enda alla pinna $1,6 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$.

33. Gaasimaski kurn sisaldab 40 g adsorbenti, kusjuures 1 g adsorbenti on võimeline adsorbeerima $0,672 \text{ dm}^3$ kloori (normaaltingimustel). Mitu minutit võib sellist gaasi-

maski kandev inimene viibida ruumis, mis sisaldab 15 g kloori 1 m³ õhus ning tema õhutarvidus on 20 dm³ minutis.

34. 1 g adsorbendi aktiivne pind on 500 m² ning gaasimaski kurnas on 125 g adsorbenti. Nitreerimistsehhhi õhk sisaldab 10 g NO₂ 1 m³ õhus. Mitu tundi võib inimene töötada sellist gaasimaski kandes tsehhhis, kui inimese keskmine õhutarvidus on 25 dm³ minutis ning üks NO₂ molekul täidab pinda 5,2·10⁻¹⁵ cm².

35. Gaasimaski kurn sisaldab 40 g adsorbenti, kusjuures 1 g adsorbenti on võimeline adsorbeerima 0,6 dm³ CO (nt). Kui kaua (tundides) võib sellist gaasimaski kandev inimene viibida ruumis, mille õhk sisaldab 0,12 % (kaaluliselt) CO. Inimese keskmine õhutarvidus on 15 dm³ minutis.

36. Temperatuuril 0 °C ja rõhul 2·10⁴ Pa adsorbeerub 1 g adsorbendil 20 cm³ vesinikku, temperatuuril 30 °C adsorbeerub sama kogus vesinikku rõhul 3,16·10⁴ Pa. Arvutada adsorptsioonisoosus.

37. 1 g söel temperatuuril 30 °C ja rõhul 79980 Pa adsorbeerub 40 cm³ CO₂ arvutatuna normaalingimustele. Sama kogus gaasi 0 °C juures adsorbeerub rõhul 23061 Pa. Arvutada adsorptsioonisoosus.

38. Lämmastikoksiidi adsorptsioonil baariumfluoriidil saadi järgmised tulemused:

-40 °C		0 °C	
p (Pa)	V (cm ³)	p (Pa)	V (cm ³)
3546	3,17	17462	3,01
4785	3,7	24260	3,73
6745	4,4	31192	4,24
8598	5,09	44122	5,3
12650	6,14	53987	5,86
15996	6,7	59185	6,16

Arvutada adsorptsioonisoosus.

39. Määrata Nikolski võrrandi konstant ioonivahetusprotsessis, kus Ca^{2+} -ioon vahetub Na^+ -iooniga soolalahusest:

Ioonide kontsentratsioonid lahuses $\text{c} \cdot 10^3 \text{ (mol.dm}^{-3}\text{)}$		Adsorbeerunud ioonide hulk $X \cdot 10^2 \text{ (mol.kg}^{-1}\text{)}$	
Na^+	Ca^{2+}	Na^+	Ca^{2+}
3,26	37,84	0,28	39,72
6,60	36,72	0,60	39,56
13,80	34,87	1,20	39,40
21,85	31,87	1,89	39,93

40. Määrata Nikolski võrrandi konstant ioonivahetusprotsessis, kus Mg^{2+} -ioon vahetub Na^+ -iooniga lahusest:

Ioonide kontsentratsioonid lahuses $\text{c} \cdot 10^3 \text{ (mol.dm}^{-3}\text{)}$		Adsorbeerunud ioonide hulk $X \cdot 10^2 \text{ (mol.kg}^{-1}\text{)}$	
Na^+	Mg^{2+}	Na^+	Mg^{2+}
13,82	41,92	1,21	32,84
21,25	38,30	1,89	29,32
38,19	31,90	3,62	27,20
65,0	21,14	7,01	26,13

41. Määrata Nikolski võrrandi konstant ioonivahetusprotsessis, kus Mg^{2+} -ioon vahetub Ca^{2+} -iooniga lahusest:

Ioonide kontsentratsioonid lahuses $\text{c} \cdot 10^3 \text{ (mol.dm}^{-3}\text{)}$		Adsorbeerunud ioonide hulk $X \cdot 10^2 \text{ (mol.kg}^{-1}\text{)}$	
Mg^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}
2,41	4,75	8,12	42,88
2,25	5,00	7,70	43,30
2,00	5,10	6,90	44,10
1,84	5,50	6,10	44,90

42. Kasutades eksperimentaalseid andmeid Ca^{2+} -iooni (c_1, X_1) ja Na^+ -iooni (c_2, X_2) vahetuse kohta sünteetilisel

ioniidil, määrata graafiliselt Nikolski võrrandi konstant:

$c_1^{0,5} : c_2$ lahuses	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
$x_1^{0,5} : x_2$ ioniidis	0,75	1,0	1,5	1,8	2,4	3,1

II. DISPERSSETE SÜSTEEMIDE MOLEKULAARKINEETILISED JA OPTILISED OMADUSED

Disperssete süsteemide molekulaarkineetilised omadused erinevad tavalistes lahustes kulgevatest protsessidest mitte põhimõtteliselt, vaid ainult kvantitatiivselt. Disperssetes süsteemides on osakesed suuremad võrreldes tavaliste lahustega, seega nähtused on vähem intensiivsed.

Osakeste Browni liikumist iseloomustab keskmine nihe (Δ), mis on arvutatav Einsteini poolt antud seosest

$$\Delta = \sqrt{\frac{RT}{N_A} \cdot \frac{t}{3\pi\eta r}}, \quad (\text{II, 1})$$

kus t - kahe vaatlusmomendi vaheline aeg,

r - osakese efektiivne raadius,

η - keskkonna viskoossus.

Soojusliikumisest tingitud isevoolulist kontsentratsioonide ühtlustumust nimetatakse difusiooniks ning selle kiirust saab leida Ficki võrrandist

$$\frac{dm}{dt} = D.s. \frac{dc}{dx}, \quad (\text{II, 2})$$

kus dm - aine hulk, mis aja dt jooksul difundeerub läbi pinna s ,

$\frac{dc}{dx}$ - kontsentratsiooni gradient,

D - difusioonikoefitsient - väljendab aine hulka (moolides), mis ajaühiku jooksul läbib pinnaühiku ühikulise kontsentratsioonigradiendi korral.

Difusioonikoefitsienti võib arvutada Einsteini antud seosest

$$D = \frac{RT}{N_A} \cdot \frac{1}{6\pi\eta r} . \quad (\text{II}, 3)$$

Võrranditest (II, 1) ja (II, 3) saame

$$D = \frac{\Delta^2}{2t} . \quad (\text{II}, 4)$$

Osmootne rõhk disperssetes süsteemides on arvutatav teisendatud van't Hoffi võrrandist:

$$\pi = \frac{(m : m_1) \cdot RT}{V \cdot N_A} = \frac{N}{N_A} RT , \quad (\text{II}, 5)$$

kus m - dispersse faasi koguhulk,

m_1 - ühe osakese mass,

V - dispersse süsteemi ruumala,

N - osakeste arv ruumalaühikus (osakeste kontsentratsioon).

Sama dispersse faasi koguhulga, kuid erineva osakeste suuruse puhul võime kerakujuliste osakeste korral, lähtudes võrrandist (II, 5) kirjutada:

$$\frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{r_2^3}{r_1^3} . \quad (\text{II}, 6)$$

Dispersses süsteemis mõjub osakesele peale difusiooni jõu veel raskusjõud. Nende koosmõju tulemusena saabub süsteemis dünaamiline tasakaal, mis väljendub aine kontsentratsiooni vähenemises üleminekul alumistelt kihtidelt ülemistele. Osakeste jaotust sellises süsteemis väljendab Laplace'i võrrand (hüpsomeetriline seadus):

$$\ln \frac{N_0}{N_1} = \ln \frac{c_0}{c_1} = \frac{M \cdot g \cdot h}{R \cdot T} . \quad (\text{II}, 7)$$

Disperssetes süsteemides, kus osakesed on küllalt suured, peame arvestama ka Archimedese seadust. Lähtudes võrrandist (II, 7) saame

$$\ln \frac{N_0}{N_1} = \frac{N_A \cdot m \cdot g}{R \cdot T} \cdot \left(\frac{d - d_0}{d} \right) \cdot h , \quad (\text{II}, 8)$$

kus d - disperseeritud aine tihedus,

d_0 - dispersioonikeskkonna tihedus.

h - kihtidevaheline kaugus (kõrgus).

Gaaside korral võime seose (II, 7) kirjutada kujul

$$\ln \frac{p_0}{p} = \frac{N_A \cdot m \cdot g \cdot h}{R \cdot T}, \quad (\text{II, 9})$$

kus p_0 - gaasi rõhk nullnivooks valitud kõrgusel ($h = 0$),
 p - gaasi rõhk kõrgusel h .

Küllalt suurte osakeste korral on dispersses süsteemis ülekaalus sedimentatsioon, mille kiirust (v) saame arvutada Stokesi seadusest lähtudes:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot (d - d_0) \cdot g}{\eta}. \quad (\text{II, 10})$$

Disperssetes süsteemides valgus hajub, kusjuures hajunud valguse intensiivsust saab arvutada Rayleigh' valemist

$$I = 24 \pi^3 I_0 \left(\frac{n^2 - n_0^2}{n^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{N \cdot V^2}{\lambda^4}, \quad (\text{II, 11})$$

kus I_0 , I - pealelangeva ja hajutatud valguse intensiivsused,

n_0 , n - dispersioonikeskkonna ja dispersse faasi murdumisnäitajad,

N - hajutavate osakeste arv ruumalaühikus,

V - osakese ruumala,

λ - pealelangeva valguse lainepikkus.

Kuna osakeste kaaluline kontsentratsioon $c = N \cdot V \cdot d$, siis teiste suuruste võrdsuse korral saame võrrandist (II, 11):

$$I = k \cdot c \cdot V. \quad (\text{II, 12})$$

Mõttes ühe lahuse poolt hajutatud valguse intensiivsust teise suhtes, saame

$$\begin{aligned} \frac{I_x}{I_{st}} &= \frac{h_{st}}{h_x} = \left(\frac{c_x}{c_{st}} \right) V = \text{const} = \\ &= \left(\frac{r_x^3}{r_{st}^3} \right) c = \text{const}. \end{aligned} \quad (\text{II, 13})$$

Seos (II, 13) on aluseks disperssete süsteemide uurimismeetodile - nefelomeetriaale. Määrates uuritava lahuse ja standardlahuse hajutavate lahuste sammaste kõrgused (h_x , h_{st}), võime leida kas uuritava lahuse kontsentratsiooni või osakese suuruse.

Otseselt võib osakesi dispersses süsteemis jälgida ultramikroskoobi abil, mis võimaldab loetleda osakeste arvu N kindlas ruumalas V . Kui aine kontsentratsioon lahuses on c , siis osakeste mass vaadeldavas ruumalas on $c \cdot V$, millest ühe osakese mass $m = c \cdot V : N$. Tehes eelduse osakese kuju kohta, saame välja arvutada osakese mõõtmed. Kuubikujulise osakese korral

$$l = \sqrt[3]{\frac{c \cdot V}{N \cdot d}} \quad (\text{II, 14})$$

ja kerakujulise osakese korral

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot c \cdot V}{4 \cdot \pi \cdot N \cdot d}}, \quad (\text{II, 15})$$

kus l - kuubikujulise osakese serva pikkus,
 r - kerakujulise osakese raadius,
 d - dispersse faasi tihedus.

Näide 1. Kui suur on glütserosooli osakeste ($r = 100$ nm) keskmine nihe 10 s jooksul temperatuuril 67°C , kui glütseriini viskoossus sellel temperatuuril on $1 \cdot 10^{-4}$ N.s.m $^{-2}$. Arvutada difusioonikoefitsient samal temperatuuril.

Lahendus.

1. Lähtudes seosest (II, 1) arvutame keskmise nihke:

$$\Delta = \sqrt[3]{\frac{8,314 \cdot 340 \cdot 10}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-7}}} = 2,23 \cdot 10^{-5} \text{ m}.$$

2. Difusioonikoefitsiendi arvutame seosest (II,4):

$$D = \frac{(2,23 \cdot 10^{-5})^2}{2 \cdot 10} = 2,49 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}.$$

Näide 2. Kulla hüdrosool koosneb osakestest, mille diameeter on 2 nm. Arvutada temperatuuril 27°C kõrgus,

millel osakeste arv väheneb kaks korda, kui lahuse tihedus on $1 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ja kulla tihedus $19,3 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

L a h e n d u s .

1. Arvutame osakese massi:

$$m = \frac{4}{3} \cdot \tilde{\kappa} \cdot r^3 \cdot d = \frac{4}{3} \cdot \tilde{\kappa} \cdot (1 \cdot 10^{-9})^3 \cdot 19,3 \cdot 10^3 = \\ = 8,08 \cdot 10^{-23} \text{ kg} .$$

2. Arvutame seosest (II,8) samba kõrguse:

$$h = \frac{8 \cdot 314 \cdot 300 \cdot 19,3 \cdot 10^3 \cdot \ln 2}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 8,08 \cdot 10^{-23} \cdot 9,81 \cdot (19,3 - 1) \cdot 10^3} = \\ = 3,82 \text{ m} .$$

N ä i d e 3. As_2S_3 hüdrosool sisaldab 7,2 kg As_2S_3 kuupmeetris. Osakese keskmine raadius on 10 nm. Arvutada osmootne rõhk temperatuuril 273°K , kui As_2S_3 tihedus on $2,8 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, ja kolloidosakese mass (süsinikühikutes). Milline oleks osmootne rõhk, kui As_2S_3 moodustaks tõelise lahuse?

L a h e n d u s .

1. Arvutame ühe osakese massi:

$$m = V \cdot d = \frac{4}{3} \cdot \tilde{\kappa} \cdot r^3 \cdot d = \frac{4}{3} \cdot \tilde{\kappa} \cdot (10^{-9})^3 \cdot 2,8 \cdot 10^3 = 1,173 \cdot 10^{-20} \text{ kg} .$$

2. Arvutame osakeste arvu 1 m^3 soolis:

$$N_1 = \frac{7,2}{1,173 \cdot 10^{-20}} = 6,14 \cdot 10^{20} .$$

3. Arvutame osmootse rõhu seosest (II, 5):

$$\Pi_1 = \frac{6,14 \cdot 10^{20} \cdot 8,314 \cdot 10^3 \cdot 273}{6,02 \cdot 10^{26}} = 2,315 \text{ Pa} .$$

4. Arvutame osmootse rõhu tõelises lahuses. Tõelises lahuses

$$N_2 = \frac{7,2 \cdot 6,02 \cdot 10^{26}}{246} = 1,76 \cdot 10^{25} \text{ molekuli} .$$

Lähtudes seosest (II, 6), saame

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{1,76 \cdot 10^{25}}{6,14 \cdot 10^{20}} = 2,87 \cdot 10^4,$$

$$n_2 = 2,315 \cdot 2,87 \cdot 10^4 = 6,644 \cdot 10^4 \text{ Pa}.$$

5. Arvutame ühe osakese massi süsinikühikutes:

$$M = 246 \cdot 2,87 \cdot 10^4 = 7,06 \cdot 10^6 \text{ s.ü.}$$

N ä i d e 4. Mitu korda muutub hajunud valguse intensiivsus kolloidlahuses, kui valguse, mille lainepikkus on 400 nm, asemel kasutada valgust lainepikkusega 600 nm?

L a h e n d u s .

Lähtudes Rayleigh'i valemist (II, 11) võime kõikide teiste muutujate võrdsuse korral kirjutada

$$\frac{I_{400}}{I_{600}} = \frac{600^4}{400^4} \sim 5.$$

N ä i d e 5. Hõbeda kolloidlahus, mis sisaldab 1 mg hõbedat 1 dm³ lahuses, lahjendati 100 korda. Ultramikroskoobi vaateväljas, mille pindala on 1 · 10⁻⁸ m² ja sügavus 1 · 10⁻⁵ m, oli 10 osakest. Oletades, et osakesed on kerakujulised, arvutada nende keskmine raadius, kui hõbeda tihe-
dus on 10,5 · 10³ kg · m⁻³.

L a h e n d u s .

1. Arvutame lahuse ruumala vaateväljas:

$$V = 1 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 10^{-5} = 1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3.$$

2. Arvutame lahuse kontsentratsiooni: 1 dm³ oli 1 · 10⁻⁶ kg, pärast lahjendamist jäi 1 dm³ lahusesse 1 · 10⁻⁸ kg, millest 1 m³ sisaldab 1 · 10⁻⁵ kg.

3. Seosest (II, 15) arvutame osakese raadiuse:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-13}}{4 \pi \cdot 10 \cdot 10,5 \cdot 10^3}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^{-18}}{2,274 \cdot 10^{24}}} = 1,315 \cdot 10^{-8} \text{ m}.$$

Ü l e s a n d e d

43. Arvutada temperatuuril 20°C hõbedaosakeste keskmine nihe 10 s jooksul ja difusioonikoefitsient, kui keskmine raadius on 50 nm ja keskkonna viskoossus $1 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$.

44. Arvutada osakese raadius, kui keskmine nihe 1 min jooksul on $10,65 \mu\text{m}$ ja keskkonna viskoossus temperatuuril 20°C $1,05 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$.

45. Osakeste, mille raadius 27 nm, keskmine nihe oli $7 \mu\text{m}$. Kui suur on keskmine nihe samast ainest osakestel, mille raadius on 52 nm?

46. Osakeste keskmine nihe õhus on 8 korda, vesinikus 15 korda suurem kui vees. Arvutada õhu ja vesiniku viskoossused, kui vee viskoossus on $1 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$.

47. Kuidas suhtuvad osakeste raadiused, kui keskmised nihked suhtuvad 1 : 2?

48. Arvutada NH_2Cl aerosoolis temperatuuril 20°C osakeste keskmine nihe 5 s jooksul, kui osakeste raadius on $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. Õhu viskoossus on $1,72 \cdot 10^{-5} \text{ N.s.m}^{-2}$. Kuidas muutub keskmine nihe, kui osakeste keskmine raadius on $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$?

49. Kuidas muutub osakeste difusioonikoefitsient dispergeeriva aine lisamisel, kui raadius enne dispergeeriva aine lisamist oli $1,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}$, pärast aga $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$?

50. Kampoli soolis, mille viskoossus on $1 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$, on osakeste raadius $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}$. Arvutada difusioonikoefitsient temperatuuril 15°C .

51. Osakestel, mille läbimõõt on 30 nm, on keskmine nihe 7 s jooksul $4,2 \mu\text{m}$. Osakestel, mille läbimõõt aga 10 nm, on keskmine nihe samas keskkonnas sama aja vältel $8,1 \mu\text{m}$. Mitu korda erinevad difusioonikoefitsiendid?

52. Kuidas suhtuvad osakeste raadiused, kui difusioonikoefitsiendid erinevad 5 korda?

53. Kuidas suhtuvad keskmised nihked osakestel, mille raadiused $r_1 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ja $r_2 = 8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$?

54. Millise kiirusega settivad veetilgakesed, kui tilgakeste raadius on $1 \cdot 10^{-5}$ m. Õhu viskoossus on sama kui ülendes 48 ja õhu tihedust võib mitte arvestada.

55. Arvutada NH_4Cl ($d = 1,45 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^3$) aerosoolis osakeste settimiskiirus, kui osakeste raadius on $5 \cdot 10^{-7}$ m ja õhu viskoossus on sama kui ülendes 48 ning õhu tihedust võib mitte arvestada.

56. Arvutada saviosakeste efektiivne raadius, kui osakeste settimiskiirus vees on $1 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$. Savi tihedus on $2,4 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ja suspensiooni viskoossus $1 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$.

57. Õliemulsioonis vees eraldusid kihid 10 min jooksul. Milline oli õlitilgakeste läbimõõt, kui emulsioonikihi paksus oli 10 cm, õli tihedus $0,7 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ja keskkonna viskoossus $1 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$?

58. Millise kiirusega settivad udu- (vee-) tilgakesed, mille raadius on $2 \cdot 10^{-6}$ m. Õhu viskoossus on $1,8 \cdot 10^{-6} \text{ N.s.m}^{-2}$ ja õhu tihedust võime mitte arvestada.

59. Osakeste arvu loendamisel seleeni hüdrosoolis temperatuuril 20°C ning kõrgustel, mille vahe oli $100 \mu\text{m}$, saadi järgmised tulemused: alumisel 777 ja ülemisel 444 osakest. Arvutada osakeste läbimõõt, kui seleeni tihedus on $4,27 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ja sooli tihedus $1,05 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

60. Elavhõbeda hüdrosoolis on osakeste keskmine läbimõõt 5 nm. Millisel kõrgusel nõu põhjast väheneb sooli kontsentratsioon kolm korda, kui temperatuur on 20°C ja elavhõbeda tihedus $13,56 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ning sooli tihedus $1,06 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$?

61. Osakeste loendamisel kulla hüdrosoolis, temperatuuril 20°C , kõrgustel, mille vahe oli $80 \mu\text{m}$, saadi järgmised tulemused: alumisel 780, ülemisel 410 osakest. Arvutada osakese raadius, kui kulla tihedus on $19,3 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ja sooli tihedus $1,02 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

62. Kasutades hüpsomeetrilist seadust, arvutada kõrgus, millel lämmastiku kontsentratsioon atmosfääris väheneb kaks korda, kui temperatuur on -20°C .

63. Maapinnal on õhurõhk 101 000 Pa. Kui kõrgel on õhupall, kui temale asetatud manomeeter näitab 41 000 Pa ja termomeeter -35°C ?

64. Õhk sisaldab ruumalaliselt 21 % hapnikku. Arvutada hapniku partsiaalarõhk 7 km kõrgusel temperatuuril -30°C , kui maapinnal on normaalrõhk.

65. Maapinnal oli õhurõhk 102665,64 Pa. Kui kõrgel on meteoroloogiline sond, kui temale asetatud manomeeter näitab 87 999,12 Pa ja termomeeter 0°C ?

66. Tartu telemasti kõrgus on 175 m. Milline on õhurõhk masti tipus, kui maapinnal on õhurõhk ja temperatuur standardised?

67. Kui kõrgel on lennuk, kui temale asetatud manomeeter näitab kaks korda väiksemat rõhku, kui on maapinnal, ja termomeeter -25°C ?

68. TU-134 lendab 9,5 km kõrgusel, kus temperatuur on -45°C . Milline on sellisel kõrgusel hapniku partsiaalarõhk, kui maapinnal on normaalrõhk ja õhk sisaldab ruumalaliselt 21 % hapnikku?

69. As_2S_3 hüdrosool sisaldab 8,4 kg As_2S_3 kuupmeetris lahuses. Osakese ruumala on $1 \cdot 10^3 \text{ nm}^3$. Arvutada osakeste kontsentratsioon, osmootne rõhk 0°C juures ning kolloid-osakese mass (süsinikühikutes), kui As_2S_3 tihedus on $2,8 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

70. $0,5 \text{ m}^3$ hüdrosoolis sisaldub 0,05 kg Au. Temperatuuril 25°C on hüdrosooli osmootne rõhk 1 cm veesammast. Arvutada kolloidosakeses olevate Au aatomite arv.

71. Kahe mastiksi hüdrosooli nefelomeetrilisel võrdlemisel vastas osakestele, mille raadius on 100 nm, samba kõrgus $8,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, uuritavale soolile vastas samba kõrgus $2,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$. Arvutada osakeste raadius uuritavas soolis.

72. Nefelomeetrilistel mõõtmistel vastas osakestele, mille raadius oli 20 μm , samba kõrgus $1,025 \cdot 10^{-1} \text{ m}$. Arvutada osakeste raadius teises sama kontsentratsiooniga lahuses, kui mõõtmistel saadi samba kõrguseks $8,62 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

73. Mastiksi sooli nefelomeetrilisel uurimisel oli standardlahuses ($r = 1,2 \cdot 10^{-7}$ m) samba kõrguseks $5 \cdot 10^{-3}$ m, uuritavas lahuses aga $1,9 \cdot 10^{-2}$ m. Arvutada osakese raadius uuritavas lahuses.

74. Hg kolloidlahus sisaldas 1,2 kg Hg kuupmeetris lahuses. Nefelomeetrilistel mõõtmistel vastas sellele samba kõrgus 0,131 m. Uuritavale soolile vastas samba kõrgus 0,182 m. Arvutada Hg kontsentratsioon uuritavas soolis.

75. Kumb emulsioonidest, kas benseen-vees või süsiniktetrakloriid-vees hajutab valgust ja mitu korda rohkem sama kontsentratsiooni ja osakese suuruse korral, kui

$$n_{C_6H_6}^{20} = 1,502 \quad n_{CCl_4}^{20} = 1,463 \quad n_{H_2O}^{20} = 1,333.$$

76. Kumb emulsioonidest kas bensiin-vees või n-pentaan-vees hajutab valgust ja mitu korda rohkem sama kontsentratsiooni ja osakese suuruse korral, kui

$$n_{\text{bensiin}}^{20} = 1,38 \quad n_{C_5H_{12}}^{20} = 1,36 \quad n_{H_2O}^{20} = 1,33.$$

77. Punase valguse (spektraaljoon A) lainepikkus on $7,6 \cdot 10^{-7}$ m, sinise valguse (spektraaljoon G) lainepikkus aga $4,3 \cdot 10^{-7}$ m. Kumba valguse korral on hajumine disperses süsteemis suurem ja mitu korda?

78. Mitu korda muutub hajunud valguse intensiivsus kolloidlahuses, kui valguse, mille lainepikkus on 750 nm, asemel kasutada valgust lainepikkusega 502 nm?

79. Lahus, mis sisaldas 1 kg Fe_2O_3 kuupmeetris lahuses, lahjendati 100 korda ning uuriti ultramikroskoobiga. Vaateväljas, mille läbimõõt $4 \cdot 10^{-5}$ m ja sügavus samuti $4 \cdot 10^{-5}$ m, oli 3 osakest. Oletades, et osakesed on kerakujulised, arvutada nende keskmine raadius, kui Fe_2O_3 tihedus on $5,2 \cdot 10^3$ kg.m⁻³.

80. Kulla hüdrosooli, mis sisaldas 50 g Au kuupmeetris lahuses, lahjendati 1000 korda. Ultramikroskoobi vaateväljas, mille pindala oli $1 \cdot 10^{-9}$ m² ja sügavus $2 \cdot 10^{-5}$ m, oli keskmiselt 65 osakest. Oletades, et osakesed on kerakujulised, arvutada nende keskmine raadius, kui Au tihedus on $19,3 \cdot 10^3$ kg.m⁻³.

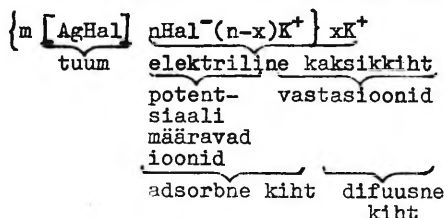
81. As_2S_3 hüdrosooli, mis sisaldab 0,25 kg As_2S_3 kuupmeetris lahuses, lahjendati 5000 korda. Ultramikroskoobi vaateväljas, mille pindala $4,10^{-9} \text{ m}^2$ ja sügavus $2,10^{-4} \text{ m}$, oli keskmiselt 20 osakest. Oletades, et osakesed on kerakujulised, arvutada osakeste keskmine raadius, kui As_2S_3 tihedus on $2,8,10^3 \text{ kg. m}^{-3}$.

82. Uurides õliaerosooli läbivoolu ultramikroskoobis leiti, et ruumalas $1,33,10^{-11} \text{ m}^3$ oli 50 õlitilgakest. Arvutada õlitilga keskmine raadius. Aerosooli kontsentratsioon oli $2,5,10^{-5} \text{ kg.m}^{-3}$ ning õli tihedus $0,9,10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

III. KOLLOIDLAHUSTE VAIMISTAMINE. MITSELLI EHTUS.

ELEKTROKINEETILISED NÄHTUSED. KOAGULATSIOON

Kõik kolloidilahused koosnevad kahest osast: mitselli-dest ja intermitsellaarsest vedelikust (keskkonnast). Mitselli omakorda koosneb tuumast ja seda ümbritsevast kaksik-kihist. Näitena vaatleme hõbehalogeniidi mitselli skeemi:



Potentsiaali määravate ionide iseloom on määratud Fajans-Paneti reeglga, s.t. nendeks ionideks on sellised ioonid, mis sobivad tuuma kristallivõrresse.

Rakendades välist elektrivälja, hakkavad osakesed (tuum koos adsorbse kihiga) liikuma ühe elektroodi suunas (elektroforees). Samaaegselt difuusse kihi ioonid, haarates kaasa osa intermitsellaarset vedelikku, liiguvad teise elektroodi suunas (elektro-osmoos). Sellise protsessi kiirust määrab elektrokineetiline (ζ -) potentsiaal.

ζ -potentsiaali suurust võime arvutada elektroforeesil osakese liikumise kiiruse, elektro-osmoosil ülekantud vedeliku hulga järel:

$$\zeta = \frac{\eta \cdot u}{\chi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \quad , \quad (\text{III}, 1)$$

$$\zeta = \frac{\eta \cdot \alpha \cdot V}{I \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \quad , \quad (\text{III}, 2)$$

kus u - osakese liikumiskiirus m.s^{-1} ,
 V - ülekantava vedeliku ruumalaline kiirus $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$,
 χ - potentsiaaligradient V.m^{-1} ,
 I - voolutugevus A,
 η - vedeliku viskoossus N.s.m^{-2} ,
 α - elektrijuhtivus S.m^{-1} ,
 ϵ - dielektriline läbitavus,
 ϵ_0 - $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$.

Elektrolüütide toimel toimub kolloidlahustes koagulatsioon. Koagulatsiooni kutsub esile ioon, mille laengu märk on vastupidine osakese laengu märgile, ning selle koaguleeriv toime on seda suurem, mida suurem on koaguleeriva iooni laeng (Schultze-Hardy reegel). Vähimat elektrolüüdi kontsentratsiooni (moolides 1 m^3 kolloidlahuse kohta), mis kutsub esile nähtava koagulatsiooni, nimetatakse koagulatsiooniläveks (L) ning see on arvutatav seosest

$$L = \frac{V_1 \cdot c}{V_s + V_1} \quad , \quad (\text{III}, 3)$$

kus V_1 - elektrolüüdlahuse ruumala m^3 ,
 V_s - kolloidlahuse ruumala m^3 ,
 c - elektrolüüdlahuse molaarsus kmol.m^{-3} .

Osakeste arvu ajalist muutust kiirel koagulatsioonil saab arvutada Smoluhovski võrrandist:

$$K = \frac{1}{t} \left(\frac{1}{N} - \frac{1}{N_0} \right) \quad , \quad (\text{III}, 4)$$

kus N_0 - osakeste arv sooli ruumalaühikus enne koagulatsiooni,

N - osakeste arv sooli ruumalaühikus ajamomendil t ,

$K = \frac{4RT}{3\eta N_A}$ - koagulatsioonikiiruse konstant.

Kui eksperimentaalsetest andmetest määratud koagulatsiooni kiiruse konstant ei ühti arvutatud väärtusega, siis on tegemist aeglase koagulatsiooniga. Koagulatsiooni iseloomustab ka "koagulatsiooni poolestusaeg" (aeg, mille vältel osakeste arv väheneb kaks korda).

$$\tilde{\epsilon} = \frac{1}{K \cdot N_0} . \quad (\text{III, 5})$$

Seda arvestades saame võrrandist (III, 4)

$$N = \frac{N_0}{1 + \frac{t}{\tilde{\epsilon}}} , \quad \tilde{\epsilon} = \frac{t}{(N_0/N) - 1} . \quad (\text{III, 6})$$

Kui $\tilde{\epsilon}$ erinevatel ajamomentidel pole püsiv, siis tähendab, et kulgeb aeglane koagulatsioon.

N ä i d e 1. AgCl sooli valmistamisel segati 12 cm^3 $0,02 \text{ M KCl}$ -lahust ja 100 cm^3 $0,005 \text{ M AgNO}_3$ -lahust. Kirjutada mitselli valem.

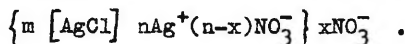
L a h e n d u s .

Leiame aine hulgad:

KCl -lahuses sisaldub $12 \cdot 0,02 = 0,24$ mmooli KCl ;

AgNO_3 -lahuses sisaldub $100 \cdot 0,005 = 0,5$ mmooli AgNO_3 .

Seega on lahuses ülekaalus Ag^+ ioonid (potentsiaali määravad ioonid) ning mitselli valem on järgmine:



N ä i d e 2. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sooli elektroforees teostatati järgmiste näitajate juures: pinge 150 V , elektroodide vaheline kaugus 30 cm . Seejuures liikusid osakesed 20 min jooksul $2,4 \text{ cm}$. Arvutada ζ -potentsiaal, kui $\epsilon = 7,08 \cdot 10^{-10} \text{ F.s.m}^{-1}$ ja $\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$.

L a h e n d u s .

Seosest (III, 1)

$$\zeta = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-1}}{20 \cdot 60 \cdot 150 \cdot 81 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}} = 5,57 \cdot 10^{-2} \text{ V} .$$

N ä i d e 3. 10 cm^3 soolile oli nähtava koagulatsiooni esilekutsumiseks tarvis lisada $14,5 \text{ cm}^3$ $0,005 \text{ M K}_2\text{SO}_4$ -lahust. Arvutada koagulatsioonilävi.

L a h e n d u s .

Koagulatsiooniläve arvutame lähtudes seosest (III, 3)

$$L = \frac{14,5 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-6} + 14,5 \cdot 10^{-6}} = 2,96 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} .$$

N ä i d e 4. Mitu korda väheneb osakeste arv ZnO aerosoolis 60 sekundi jooksul pärast koagulatsiooni algust, kui katse algul oli 1 m^3 õhus $20 \cdot 10^{15}$ osakest? Smoluhhovski võrrandi konstant on $3 \cdot 10^{-16} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

L a h e n d u s .

Osakeste arvu mingil ajamomendil leiame võrrandist (III, 4)

$$N_{60} = \frac{20 \cdot 10^{15}}{1 + 3 \cdot 10^{-16} \cdot 60 \cdot 20 \cdot 10^{15}} = 5,54 \cdot 10^{13} .$$

Seega osakeste arv 60 s möödudes vähenes

$$20 \cdot 10^{15} : 5,54 \cdot 10^{13} = 361 \text{ korda} .$$

Ü l e s a n d e d

83. 20 cm^3 $0,01 \text{ M}$ KBr-lahusele lisati 32 cm^3 $0,004 \text{ M}$ AgNO_3 -lahust. Kirjutada mitselli valem. Millise elektroodi suunas liiguvad osakesed elektroforeesil?

84. AgI sool saadi 10 cm^3 $0,15\%$ -lise KI-lahuse lisamisel 15 cm^3 $0,02 \text{ M}$ AgNO_3 -lahusele. Kirjutada mitselli valem. Milline on osakeste laeng?

85. Kui suur ruumala $0,005 \text{ M}$ AgNO_3 lahust võib lisada 25 cm^3 $0,016 \text{ M}$ KI-lahusele, et tekiks veel negatiivselt laetud osakestega AgI sool? Kirjutada mitselli valem.

86. Kui suur ruumala $0,05 \text{ M}$ AgNO_3 -lahust tuleb lisada 25 cm^3 $0,012 \text{ M}$ NaCl-lahusele, et tekiks positiivselt laetud osakestega AgCl sool? Kirjutada mitselli valem.

87. 10 cm^3 $0,002 \text{ M}$ AgNO_3 -lahusele lisati 1 cm^3 $0,01 \text{ M}$ KBr-lahust ja 4 cm^3 $0,004 \text{ M}$ KCl-lahust. Millise laenguga on osakesed?

88. Kirjutada BaSO_4 mitselli valem, mis saadi BaCl_2 reageerimisel H_2SO_4 liiaga.

89. SnO_2 hüdrosool valmistati vähese hulga HCl toimel K_2SnO_3 -lahusesse. Kirjutada mitselli valem.

90. $\text{Al}(\text{OH})_3$ sool valmistati AlCl_3 hüdrolüüsil. Kirjutada mitselli valem.

91. Kirjutada mitselli valem As_2S_3 hüdrosoolis, kui stabiliseerivaks elektrolüüdiks on H_2S . Kumba elektrolüüdi, kas Na_2SO_4 või BaCl_2 koagulatsioonilävi on suurem? Miks?

92. Kirjutada mitselli valem kulla hüdrosoolis, kui stabiliseerivaks elektrolüüdiks on KAuO_2 . Milline elektrolüütidest NaCl , Na_2SO_4 , BaCl_2 , K_2HPO_4 või AlCl_3 omab vähima koagulatsiooniläve?

93. AgCl sool saadi võrdsete ruumalade 0,0095 M KCl -lahuse ja 0,012 M AgNO_3 -lahuse segamisel. Kirjutada mitselli valem. Milline elektrolüütidest $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 , MgSO_4 või $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ omab suurima koagulatsiooniläve?

94. Vähevli sool saadakse $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ja H_2SO_4 vahelisel reaktsioonil. Seejuures on stabiliseerivaks elektrolüüdiks pentatsoonhape $\text{H}_2\text{S}_5\text{O}_6$, mis tekib reaktsioonil kõrvalproduktina. Kirjutada mitselli valem.

95. Looduslikus vees leiduvad kolloidosakesed liiguvad elektroforeesil katoodile. Kumba elektrolüüti, kas Na_3PO_4 või AlCl_3 , eelistada koagulatsioonilisel vee puhastamisel kolloididest? Miks?

96. FeCl_3 hüdrolüüsil valmistatud kolloidlahuse koaguleerimisel kasutati NaCl -, BaCl_2 - ja K_2SO_4 -lahuseid. Milline toodud elektrolüütidest omab vähima koagulatsiooniläve? Miks?

97. Sooli koagulatsiooni uurimisel saadi järgmised koagulatsiooniläved:

$$L_{\text{NaCl}} = 60 \text{ mol.m}^{-3}; \quad L_{\text{MgSO}_4} = 0,9 \text{ mol.m}^{-3};$$

$$L_{\text{K}_3\text{PO}_4} = 57 \text{ mol.m}^{-3}; \quad L_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = 0,1 \text{ mol.m}^{-3}.$$

Milline on kolloidosakeste laeng? Vastus põhjendada.

98. Milline kogus 0,01 M $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ -lahust on tarvis $1 \cdot 10^{-3}$ As_2S_3 sooli koaguleerimiseks, kui koagulatsioonilävi on $96 \cdot 10^{23}$ mol. m^{-3} .

99. AgI kolloidlahus saadi KI- ja AgNO_3 -lahuste segamisel. Koagulatsiooni uurimisel saadi järgmised koagulatsiooniläved:

$$\begin{aligned} L_{\text{Mg}(\text{NO}_3)_2} &= 72 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} ; & L_{\text{KNO}_3} &= 78 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \\ L_{\text{Na}_2\text{SO}_4} &= 2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} ; & L_{\text{MgSO}_4} &= 2,5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \\ L_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2} &= 74 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} ; & L_{\text{K}_3\text{PO}_4} &= 0,7 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned}$$

Kumba elektrolüütidest oli võetud liias? Anda põhjendatud vastus ning kirjutada mitselli valem.

100. $15 \cdot 10^{-6}$ m^3 AgBr koaguleerimiseks kulus $5 \cdot 10^{-7}$ m^3 0,05 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ lahust. Arvutada koagulatsioonilävi.

101. 10 cm^3 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ soolile oli koaguleerimiseks tarvis lisada 5 cm^3 0,005 M K_2SO_4 -lahust, mis eelnevalt oli lahjendatud 1 : 7. Arvutada koagulatsioonilävi.

102. Koaguleerimiseks oli 10 cm^3 soolile tarvis lisada $9,5 \cdot 10^{-7}$ m^3 1,0 M KCl-lahust või $4,7 \cdot 10^{-6}$ m^3 0,015 M K_2SO_4 -lahust või $1,9 \cdot 10^{-6}$ m^3 0,002 M K_3PO_4 -lahust. Arvutada koagulatsiooniläved ja nende põhjal määrata kolloidosakese laengu märk.

103. Arvutada kolloidosakese liikumiskiirus, kui $\xi = 0,058$ V, välise välja gradient on $5 \cdot 10^{-2}$ $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$, keskkonna dielektriline läbitavus 81 ning viskoossus $1 \cdot 10^{-3}$ $\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$.

104. Arvutada osakeste ξ -potentsiaal As_2S_3 soolis, kui 5 min jooksul liiguvad osakesed $7,18 \cdot 10^{-3}$ m, elekt-roodidevaheline kaugus on 15 cm ja pinge 120 V. Keskkonna dielektriline läbitavus ja viskoossus vt. ülesanne 103.

105. Arvutada osakeste poolt 10 min jooksul läbitud tee pikkus elektroforeesil, kui $\xi = 50$ mV ning teineteisest 0,3 m kaugusel asetsevatele elekt-roodidele on rakendatud pinge 180 V. Keskkonna dielektriline läbitavus ja viskoossus vt. ülesanne 103.

106. Vesinikumulllike liigub anoodi suunas kiirusega $8,4 \cdot 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$, kui välise välja gradient on 1 V.cm^{-1} . Arvutada ζ -potentsiaal piirpinnal vesinik-lahus, keskkonna dielektriline läbitavus ja viskoossus, vt. ülesanne 103.

107. Arvutada kullaosakeste liikumiskiirus, kui osakeste ζ -potentsiaal on 58 mV , välise välja gradient on 1000 V.m^{-1} . Dielektriline läbitavus ja keskkonna viskoossus vt. ülesanne 103.

108. Mikroelektroforeesil läbisid osakesed 5 s jooksul 5 skaalajaotist (60 skaalajaotist on 1 mm), kui potentsiaali gradient oli 10 V.cm^{-1} . Arvutada ζ -potentsiaal, keskkonna viskoossus ja dielektriline läbitavus, vt. ülesanne 103.

109. Kvartsmembraanil on $\zeta = 0,044 \text{ V}$. Arvutada 20 min jooksul läbi membraani voolanud vedeliku hulk, kui voolutugevus on $0,8 \text{ A}$ ja vedeliku erijuhtivus $0,15 \text{ S.m}^{-1}$. Keskkonna dielektriline läbitavus ja viskoossus vt. ülesanne 103.

110. Läbi keraamilise membraani voolas voolutugevusel $0,7 \text{ A}$ 15 min jooksul $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ vedelikku, mille erijuhtivus on $4,2 \cdot 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$. Arvutada ζ -potentsiaal. Keskkonna dielektriline läbitavus ja viskoossus vt. ülesanne 103.

111. Arvutada läbi poorse plaadi 1 tunni jooksul voolanud vedeliku hulk, kui $\zeta = 0,05 \text{ V}$, rakendatud voolutugevus on $1,4 \text{ A}$ ja vedeliku erijuhtivus $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$. Keskkonna dielektriline läbitavus ja viskoossus vt. ülesanne 103.

112. Arvutada ζ -potentsiaal piirpinnal kvarts - KCl vesilahus, kui elektro-osmoosil voolutugevusel $2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ kandus 11 s jooksul üle $1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$ lahust, mille erijuhtivus on $6,2 \cdot 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$. Keskkonna dielektriline läbitavus ja viskoossus vt. ülesanne 103.

113. Potentsiaaligradiendi $1 \cdot 10^2 \text{ V.m}^{-1}$ korral liigub žumulllike katoodi suunas kiirusega $4,1 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$. Arvutada elektrokineetiline potentsiaal. Keskkonna dielektriline läbitavus ja viskoossus vt. ülesanne 103.

114. Arvutada ζ -potentsiaal, kui hüdrosooli osakesed liikusid 10 min jooksul $14,4 \text{ mm}$. Välise elektrivälja pin-

ge oli 240 V ja elektroodidevaheline kaugus 30 cm. Keskkonnas dielektriline konstant ja viskoossus vt. ülesanne 103.

115. Joonistada ζ -potentsiaali sõltuvus membraani poorde diameetrist $\zeta = f(d)$, kasutades järgmisi eksperimentaalseid andmeid:

Poori diameeter $d \cdot 10^6$ m	3,0	35,0	70,0	150,0
Ruumalaline kiirus $v \cdot 10^9$ m ³ ·s ⁻¹	0,12	0,24	0,34	0,37

Mõõtmistel oli voolutugevus $3,2 \cdot 10^{-4}$ A, erijuhtivus $1,6 \cdot 10^{-2}$ S·m⁻¹. Dielektriline läbitavus ja viskoossus vt. ülesanne 103.

116. Mitu korda väheneb osakeste arv aerosoolis 1, 10, 100 s jooksul pärast koagulatsiooni algust, kui osakese raadius on $2 \cdot 10^{-8}$ m, kontsentratsioon $1 \cdot 10^{-3}$ kg·m⁻³ ning aine tihedus $2,2 \cdot 10^3$ kg·m⁻³. Smoluhovski võrrandi konstant on $3 \cdot 10^{-16}$ m³·s⁻¹.

117. Kulla sooli koagulatsioonil NaCl-lahuse toimel saadi järgmised andmed:

Koagulatsiooni kestus s	0	60	120	420	900
Osakeste arv $N \cdot 10^{-14}$	5,22	4,35	3,63	2,31	1,48

Arvutada koagulatsioonikiiruse konstandi keskmine väärtus ning võrrelda teoreetilise, kui $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ N·s·m⁻² ja $T = 273$ °K.

118. Arvutada koagulatsiooni poolestusaeg, lähtudes järgmistest andmetest:

Koagulatsiooni kestus s	0	60	120	180	300	420
Osakeste arv $N \cdot 10^{-14}$	20,2	11,0	7,9	6,3	4,8	3,7

Kas Smoluhovski kiirkoagulatsiooni teooria kehtib?

119. Arvutada koagulatsiooni poolestusaeg, lähtudes järgmistest andmetest:

Koagulatsiooni kestus s	0	100	199	252	342	524
Osakeste arv $N \cdot 10^{-14}$	5,0	3,9	3,18	2,92	2,52	2,0

120. Arvutada koagulatsioonikiiruse konstant (keskmine väärtus), lähtudes järgmistest andmetest:

Koagulatsiooni kestus s	0	1	2	4	10
Osakeste arv $N \cdot 10^{-17}$	16,0	1,78	0,99	0,5	0,2

121. Kuidas muutub tahmaosakeste arv koagulatsioonil ultraheliväljas 1, 3, 5, 7, 10 s möödudes, kui osakeste raadius on $3 \cdot 10^{-8}$ m, tahma tihedus $1,9 \cdot 10^3$ kg.m⁻³ ning algkontsentratsioon $1,2 \cdot 10^{-3}$ kg.m⁻³. Smoluhhovski võrrandi konstant $K = 3 \cdot 10^{-16}$ m.s⁻¹.

122. Kontrollida Smoluhhovski teooria kehtivust sellesni sooli koagulatsioonil KCl toimel, kasutades järgmisi andmeid:

Koagulatsiooni kestus s	0	0,7	4,3	19,0	43,0	73,0
Osakeste arv $N \cdot 10^{-14}$	29,7	20,9	19,1	14,4	10,7	7,7

IV. KÕRGMOLEKULAARSETE ÜHENDITE OMADUSI

Vedeliku laminaarset voolamist kapillaaris väljendab Poiseuille'i võrrand

$$V = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot p \cdot t}{8 \cdot \eta \cdot l}, \quad (\text{IV, 1})$$

kus V - kapillaarist väljavoolanud vedeliku ruumala,
 η - vedeliku viskoossus,
p - vedelikule avaldatud rõhk,
t - läbivoolamise aeg,
r, l - kapillaari raadius ja pikkus.

Mõõtmistel kapillaarviskosimeetriga on V , l , r konstantsed, seega

$$\eta = k \cdot p \cdot t . \quad (\text{IV}, 2)$$

Mõõtes ühe vedeliku viskoossust teise suhtes ja arvestades, et voolamisel enda raskuse toimele on rõhk võrdeline vedeliku tihedusega, saame seosest (IV, 2) lähtudes arvutada vedeliku viskoossuse:

$$\frac{\eta}{\eta_{st}} = \frac{p \cdot t}{p_{st} \cdot t_{st}} = \frac{t \cdot d}{t_{st} \cdot d_{st}} . \quad (\text{IV}, 3)$$

Viskosimeetrilistel määramistel lahustes kasutatakse suhtelist viskoossust (η_s)

$$\eta_s = \frac{\eta}{\eta_o} , \quad (\text{IV}, 4)$$

kus η_o - lahusti viskoossus, eriviskoossust (η_e)

$$\eta_e = \eta_s - 1 , \quad (\text{IV}, 5)$$

taandatud viskoossust (η_t)

$$\eta_t = \frac{\eta_e}{c} , \quad (\text{IV}, 6)$$

kus c - lahuse kontsentratsioon, ja iseloomulikku viskoossust $[\eta]$, mis leitakse graafiliselt seosest

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_e}{c} .$$

Viskosimeetrilist meetodit kasutada KMÜ molekulmassi määramiseks. Väljavenitatud lineaarsete ahelate korral lähtutakse Staudingeri võrrandist

$$\eta_e = k \cdot M \cdot c , \quad (\text{IV}, 7)$$

kus k - empiiriline konstant,

M - lahustunud KMÜ molekulmass.

Paindunud ja mittelineaarsete ahelate korral lähtutakse Mark-Houwink'i võrrandist

$$[\eta] = k \cdot M^{\alpha} , \quad (\text{IV}, 8)$$

kus k, α - empiirilised konstandid.

Kolloidlahustes seob viskoossust kontsentratsiooniga
Einstein'i võrrand

$$\eta = \eta_0(1 + \alpha \varphi) , \quad (\text{IV}, 9)$$

kus φ - dispersse faasi ruumalaline osa, s.o. tema ruumala cm^3 -tes ühes cm^3 lahuses,

α - koefitsient, mis sõltub osakese kujust (kerakuju-
listel $\alpha = 2,5$).

KMÜ molekulmassi osmomeetrilistel määramistel lähtutakse van't Hoffi võrrandist

$$\pi = \frac{c}{M} \cdot R.T , \quad (\text{IV}, 10)$$

kus c - lahuse kontsentratsioon kg.m^{-3}

π - osmootne rõhk Pa.

Võttes arvesse makromolekulide painduvust, nende asüm-
meetriat ning makromolekulide ja lahusti molekulide vastas-
tikust mõja, tuleb võrrandisse (IV, 10) sisse viia parandus-
liige:

$$\pi = \frac{c}{M} \cdot R.T + b.c^2 ; \quad \frac{\pi}{c} = \frac{R.T}{M} + b.c . \quad (\text{IV}, 11)$$

Buurtel lahjendustel saame võrrandist (IV, 11):

$$\lim_{c \rightarrow 0} \frac{\pi}{c} = \left[\frac{\pi}{c} \right] = \frac{R.T}{M} , \quad (\text{IV}, 12)$$

$\left[\frac{\pi}{c} \right]$ leitakse sõltuvusest $\frac{\pi}{c} = f(c)$ graafilisel ekstra-
poleerimisel väärtusele $c = 0$. Kuna osmomeetrid annavad la-
husti sammaste kõrguste vahe Δh , siis tuleb see ümber ar-
vutada rõhuühikuteks, arvestades, et veesammas kõrgusega 1 m
avaldab rõhku $9,806 \cdot 10^3$ Pa.

Kerakujuulistele osakeste sedimentatsiooni kiirus kesk-
tõukejõu väljas on arvutatav seosest

$$6 \pi \eta . r . \frac{dx}{dt} = \frac{4}{3} \pi r^3 (d - d_0) \omega^2 . x , \quad (\text{IV}, 13)$$

kus x - kaugus pöörlemisteljest,

ω - nurkkiirus.

Pärast muutujate eraldamist ja integreerimist $x_1 \div x_2$
ja $0 \div 1$ saame

$$\frac{\ln \frac{x_1}{x_2}}{\omega^2 \cdot t} = S = \frac{2 \cdot r^2 \cdot (d - d_0)}{9} . \quad (\text{IV, 14})$$

Suurust S nimetatakse sedimentatsioonikonstandiks ning selle kaudu on võimalik leida molekulmassi, lähtudes seosest

$$S = K \cdot M^b , \quad (\text{IV, 15})$$

kus K ja b on empiirilised konstandid. Kuna sedimentatsioonikonstant sõltub kontsentratsioonist, siis molekulmassi arvutamiseks vajalik suurus S_0 leitakse sõltuvusest $S^{-1} = f(c)$ kui algordinaat.

Optilistest meetoditest polümeeri molekulmassi määramisel on kasutatavam meetod, mis põhineb polümeeri lahuse hägususe mõõtmisel. Lähtudes Debye' võrrandist ja arvestades parandusliiget b (analoogiliselt van't Hoffi võrrandile), saame:

$$\frac{K \cdot c}{H} = \frac{1}{M} + bc , \quad (\text{IV, 16})$$

kus H - lahuse hägusus,

K, b - konstandid.

Seega on molekulmass määratav sõltuvuse $\frac{K \cdot c}{H} = f(c)$ algordinaadist.

KMÜ-d, mis sisaldavad laenguid kandvaid gruppe, nimetatakse polüelektrolüütideks. Sellisteks ühenditeks on ka valgud. Viimased võivad sõltuvalt keskkonna pH-st omandada nii positiivse kui negatiivse laengu. pH väärtust, mille juures osake on isoelektrilises olekus, nimetatakse isoelektriliseks täpiks. Sellega võrreldes on happelisemates lahustes osake positiivsema, aluseliseimates negatiivsema laenguga.

Kolloidlahuste, samuti KMÜ lahuste uurimisel on oluline Donnani tasakaal, mis iseloomustab elektrolüüdi jagunemist juhul, kui kolloidlahus on elektrolüüdilahusest eraldatud poolläbilaskva membraaniga.

$$x = \frac{c_2^2}{c_1 + 2c_2} , \quad k = 1 + \frac{c_1}{c_2} , \quad (\text{IV, 17})$$

kus c_1 - kolloidlahuse kontsentratsioon,
 c_2 - elektrolüüdilahuse kontsentratsioon,
 x - membraani läbinud elektrolüüdi hulk,
 k - elektrolüüdi jaotuskoefitsient.

Näide 1. 2%-lise valgulahuse ($d = 1,1 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$) väljavoolu aeg viskosimeetrist temperatuuril 20°C on 2,5 korda suurem kui veel samal temperatuuril. Arvutada suhteline, eri- ja taandatud viskoossus, kui $\eta_{\text{H}_2\text{O}} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$.

Lahendus.

Lähtudes seostest (IV, 3), (IV, 4), (IV, 5), (IV, 6), saame:

$$\eta = \eta_{\text{H}_2\text{O}} \frac{t \cdot d}{t_{\text{H}_2\text{O}} \cdot d_{\text{H}_2\text{O}}} = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \frac{1,1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} = 2,805 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2},$$

$$\eta_s = \frac{2,805 \cdot 10^{-3}}{1,02 \cdot 10^{-3}} = 2,75,$$

$$\eta_e = 2,75 - 1 = 1,75,$$

$$\eta_t = \frac{1,75}{2} = 0,875.$$

Näide 2. Arvutada polüvinüülalkohõli molekulmass, kui $[\eta] = 1,5$ ja $k = 4,53 \cdot 10^{-4}$, $\alpha = 0,74$.

Lahendus.

Lähtudes Mark-Houwink'i võrrandist (IV, 8)

$$M^{0,74} = \frac{1,5}{4,53 \cdot 10^{-4}} = 3311,258$$

$$M = \sqrt[0,74]{3311,258} = 57000$$

$$0,74 \lg M = \lg 3311,258$$

$$\lg M = 4,7567$$

$$M = 57000.$$

Näide 3. Želatiin on lahustatud puhverlahuses, kus vesinikioonide kontsentratsioon on $0,000251 \text{ mol.dm}^{-3}$. Mil-

lise laenguga on želatiiniosake, kui ta isoelektriline täpp on 4,7?

L a h e n d u s .

Leiame lahuse pH:

$$\text{pH} = -\lg 0,000251 = 3,6 .$$

Seega on valgusake happelisemas lahuses, võrreldes isoelektrilise täpiga, ja laetud positiivselt.

N ä i d e 4. Arvutada membraani läbinud elektrolüüdi hulk ja elektrolüüdi jagunemine Donnani tasakaalu korral, kui kolloidlahus on 0,001 M ja elektrolüüdilahus 0,1 M.

L a h e n d u s .

Donnani võrrandist (IV, 9) saame

$$x = \frac{0,1^2}{0,001 + 2 \cdot 0,1} = 4,98 \cdot 10^{-2} \quad k = 1 + \frac{0,001}{0,1} = 1,01 .$$

Seega jaguneb elektrolüüt peaaegu võrdselt mõlemal pool membraani.

Ü l e s a n d e d

123. 1%-lise želatiinilahuse ($d = 1,005 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) väljavooluaeg viskosimeetrist on 29 sek. Sama ruumala vee väljavooluaeg viskosimeetrist on 10 sek. Arvutada suhteline, eri- ja taandatud viskoossus.

124. Vesi voolab kapillaarsest viskosimeetrist välja 5 min jooksul. Millise aja vältel voolab välja lahus, mille tihedus on $0,76 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ja viskoossus $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$, kui vee viskoossus on $1,02 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$.

125. Arvutada 2%-lise valgulahuse ($d = 1,2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) väljavooluaeg viskosimeetrist 20°C juures, kui taandatud viskoossus on 0,1 ja vee väljavooluaeg 24,7 s.

126. Vesi voolab kapillaarsest viskosimeetrist välja 10,0 s jooksul. Millise aja vältel voolab välja sama ruumala valgulahust, mille eriviskoossus on 0,06.

127. Arvutada kapillaarist, mille pikkus on $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ja raadius $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$, vedeliku väljavoolukiirus, kui rõhk on 980 Pa ja viskoossus $2 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$.

128. Milline on propaantriooli viskoossus, kui ta rõhul 200 Pa kapillaarist pikkusega $6 \cdot 10^{-2}$ m ja raadiusega $1 \cdot 10^{-3}$ m voolab välja kiirusega $1,4 \cdot 10^{-9}$ m³·s⁻¹?

129. Arvutada 1 tunni jooksul läbi kapillaari voolanud vedeliku ruumala, kui kapillaari pikkus on 0,1 m, raadius 0,2 mm, rõhk 101 000 Pa ja viskoossus $1 \cdot 10^{-3}$ N·s·m⁻².

130. Arvutada polüstüreeni molekulmass, kui tema 0,1%-lise lahuse suhteline viskoossus on 1,52 ning konstant Standingeri võrrandis $1,3 \cdot 10^{-4}$.

131. Arvutada nitrotselluloosi molekulmass, kui iseloomulik viskoossus on 0,204 ja Mark-Houwinki võrrandi konstandid $k = 8,9 \cdot 10^{-6}$, $\alpha = 0,9$.

132. Viskosimeetrilistel mõõtmistel polümeerilahustes saadi järgmised tulemused:

Lahuse kontsentratsioon %	0	0,1	0,2	0,3	0,5
Väljavooluaeg viskosimeetrist	3.02,3	3.19,6	3.49,4	4.30,0	6.20,1

Arvutada polümeeri molekulmass, kui $k = 1,06 \cdot 10^{-4}$ ja $\alpha = 0,74$.

133. Polümetakrülaadi $(-O_5H_8O_2-)_n$ viskosimeetrilistel mõõtmistel saadi iseloomulikuks viskoossuseks 1,37. Arvutada polümerisatsiooni aste n , kui $\alpha = 0,82$ ja $k = 4,9 \cdot 10^{-5}$.

134. Polüsahhariidi $(C_6H_{10}O_5)_n$ lahuse iseloomulik viskoossus on 1,69. Arvutada polümerisatsiooni aste, kui $\alpha = 0,81$ ja $k = 8,5 \cdot 10^{-5}$.

135. Määrata polüvinüülatsetaadi molekulmass viskosimeetriliste mõõtmiste alusel kolmes erinevas lahustis (I-kloroform, II-benseen, III-atsetoon) (järgneva tabeli alusel)

Lahuse kontsentratsioon %		0,1	0,3	0,5	0,7
Lahuse taandatud viskoossus	I	0,385	0,462	0,537	0,615
	II	0,234	0,272	0,312	0,352
	III	0,222	0,260	0,295	0,330

kui konstandid Mark-Houwink'i võrrandis on

$$\begin{array}{ll} k_I = 6,5 \cdot 10^{-5} & \alpha_I = 0,71 \\ k_{II} = 5,7 \cdot 10^{-5} & \alpha_{II} = 0,70 \\ k_{III} = 5,5 \cdot 10^{-5} & \alpha_{III} = 0,70 \end{array}$$

136. Kindel ruumala kolloidlahust voolab viskosimeetrist välja 25,5 s jooksul. Sama ruumala vett voolab välja 20,4 s jooksul. Arvutada dispersse faasi ruumalaline osa, kui osakesed on kerakujulised.

137. Monodispersse gummiguti suspensioonis on osakesed kerakujulised ja moodustavad 2 % üldruumalast. Arvutada suspensiooni eriviskoossus.

138. Kerakujuliste osakestega hüdrosoolis on dispersse faasi ruumalaline osa 0,05. Arvutada eriviskoossus.

139. Kerakujuliste osakestega kolloidlahuses on dispersse faasi ruumalaline osa 0,15. Arvutada kolloidlahuse viskoossus, kui $\eta_{H_2O} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ N.s.m}^{-2}$.

140. 1%-lise hemoglobiinilahuse osmootne rõhk temperatuuril 15 °C on 483,9 Pa. Arvutada hemoglobiini molekulmass.

141. Arvutada polüstürooli molekulmass toluenis, kasutades järgnevaid osmomeetrilise mõõtmise andmeid, kui temperatuur on 20 ° ja tolueni tihedus $0,867 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

Lahuse kontsentratsioon kg.m^{-3}	2,91	4,96	7,82	9,69	12,0
Sammaste kõrguste vahe $\Delta h \cdot 10^2 \text{ m}$	0,95	1,67	2,79	3,51	4,50

142. Arvutada polüvinüülkloriidi molekulmass tsükloheksaanis, kui temperatuur on 25 °C ja tsükloheksaani tihedus $0,799 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

Lahuse kontsentratsioon kg.m^{-3}	4,0	6,0	10,0	14,0	18,0
Sammaste kõrguste vahe $\Delta h \cdot 10^2 \text{ m}$	0,71	1,1	1,97	2,98	4,04

143. Arvutada polüstürooli molekulmass benseenis, kasutades järgnevaid osmomeetrilise mõõtmise andmeid, kui temperatuur on 25°C ja benseeni tihedus $0,874 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

Lahuse kontsentratsioon kg.m^{-3}	1,0	3,0	5,0	7,0	10,0
Sammaste kõrguste vahe $4 \text{ h} \cdot 10^{-2} \text{ m}$	0,32	0,99	1,70	2,46	3,70

144. Kui täpselt on tarvis mõõta lahuse (2%-line albumiini vesilahus, $M = 70000$) külmumistemperatuuri, et viga molekulmassi määramisel poleks suurem kui 20 %.

145. Arvutada polümeeri molekulmass metanoolis, kui ultratsentrifuugi kasutamisel sedimentatsioonikonstant piirilisel lahjendamisel oli 1,95 ja $K = 1,86 \cdot 10^{-2}$ ning $b = 0,47$.

146. Arvutada polükapronamiidi molekulmass m-kresoolis järgmiste andmete alusel:

Lahuse kontsentratsioon kg.m^{-3}	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Sedimentatsiooni-konstant	0,670	0,566	0,476	0,446	0,409	0,333

Konstandid: $K = 8,7 \cdot 10^{-3}$; $b = 0,45$.

147. Arvutada polüamiidi molekulmass m-kresoolis järgmiste andmete alusel:

Lahuse kontsentratsioon kg.m^{-3}	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
Sedimentatsiooni-konstant	0,526	0,444	0,426	0,376	0,325	0,283

Konstandid K ja b vt. eelmine ülesanne.

148. Arvutada polüstürooli molekulmass tolueenis, kasutades järgnevaid optiliste mõõtmiste andmeid, kui $K = 1,17 \cdot 10^{-13}$.

Lahuse kontsentratsioon kg.m^{-3}	1,11	1,45	1,88	2,35	2,87
Hägusus $H \cdot 10^8 \text{ m}^{-1}$	3,68	4,47	5,55	6,50	7,13

149. Arvutada polüvinüülkloriidi molekulmass tsükloheksaania, kasutades järgnevaid optiliste mõõtmiste andmeid, kui $K = 6 \cdot 10^{-13}$.

Lahuse kontsentratsioon $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1,69	2,12	2,66	3,26	3,75
Hägusus $H \cdot 10^8 \text{ m}^{-1}$	8,54	10,25	12,67	14,80	16,75

150. Arvutada seebi mitsellaarne mass vees, kasutades järgnevaid optiliste mõõtmiste andmeid, kui $K = 3 \cdot 10^{-11}$.

Lahuse kontsentratsioon $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
Hägusus $H \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$	1,70	2,68	3,54	3,85	5,09

151. Kaseiin asetseb puhverlahuses, mis on valmistatud 90 cm^3 $0,12 \text{ M}$ CH_3COONa -lahuse ja 10 cm^3 $0,09 \text{ M}$ CH_3COOH -lahuse segamisel. Millise elektroodi suunas liiguvad osakesed elektroforeesil, kui kaseiini isoelektriline täpp on 4,6 ja $K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$?

152. Hemoglobiin, mille isoelektriline täpp on 6,8, viidi puhverlahusesse, mis on valmistatud 25 cm^3 $0,05 \text{ M}$ NH_4OH -lahuse ja 75 cm^3 $0,12 \text{ M}$ NH_4Cl -lahuse segamisel. Milline on osakeste laengu märk, kui $K_{\text{NH}_4\text{OH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$? Vastus põhjendada.

153. Želatiin, mille isoelektriline täpp on 4,6, viidi puhverlahusesse, mis saadi $15,1 \text{ cm}^3$ $0,1 \text{ M}$ CH_3COONa - ja 21 cm^3 $0,1 \text{ M}$ CH_3COOH -lahuse segamisel. Milline on želatiiniosakeste laeng, kui $K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$?

154. Milline on kaseiini (isoelektriline täpp 4,6) osakese laeng 1% -lises NH_4Cl -lahuses, kui $K_{\text{NH}_4\text{OH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$?

155. Milline on peptiidi- (isoelektriline täpp 9,3) osakese laeng $0,1 \text{ M}$ CH_3COONa -lahuses, kui $K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$?

156. Milline on fibrinogeeni isoelektriline täpp, mis asetatuna $0,0045 \text{ M}$ NH_4NO_3 -lahusesse on isoelektrilises olekus? $K_{\text{NH}_4\text{OH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$.

157. α_1 -, α_2 - ja β -globuliinide (isoelektrilised täpid vastavalt 2,7, 4,5 ja 5,8) elektroforees teostati puhverlahuses, mis saadi 50 cm³ 0,2 M CH₃COOH-lahuse ja 37,5 cm³ 0,2 M CH₃COONa-lahuse segamisel. Millise elektroodi suunas liiguvad valguosakesed, kui $K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ja lahuse ioontugevus 0,755.

158. Arvutada membraani läbinud elektrolüüdi hulk ja elektrolüüdi jagunemine Donnani tasakaalu korral, kui elektrolüüdi kontsentratsioon on 0,05 M ja kolloidse elektrolüüdi kontsentratsioon 0,003 M.

159. Arvutada membraani läbinud elektrolüüdi hulk ja elektrolüüdi jagunemine Donnani tasakaalu korral, kui elektrolüüdi kontsentratsioon on $1 \cdot 10^{-4}$ M ja kolloidse elektrolüüdi kontsentratsioon $2 \cdot 10^{-3}$ M.

160. Arvutada membraani läbinud elektrolüüdi hulk ja elektrolüüdi jagunemine Donnani tasakaalu korral, kui elektrolüüdi kontsentratsioon on 0,002 M ja kolloidse elektrolüüdi kontsentratsioon 0,001 M.

Ülesannete vastused

I. Pindnähtused ja adsorptsioon

- | | |
|--|---|
| 1. $4 \cdot 10^8 \text{ m}^{-1}$ | 2. $2 \cdot 10^8 \text{ m}^{-1}$ |
| 3. $144,93 \text{ m}^2$ | 4. 50 m^2 |
| 5. $1,19 \cdot 10^{15}$; $2,856 \text{ m}^2$ | 6. 10^5 korda |
| 7. $0,1257 \text{ m}^2$ | 8. $18,42 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| 9. -1. $41,3 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -2. $46,3 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -3. $44,5 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -4. $40,2 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -5. $52,6 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -6. $81,7 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -7. $101,2 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -8. $70,5 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -9. $59,6 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -10. $39,1 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -11. $55,1 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -12. $63,3 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| 10. -1. $22,3 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -2. $43,0 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -3. $28,9 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -4. $34,6 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -5. $500 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -6. $45,0 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -7. $51,9 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -8. $74,0 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| -9. $99,7 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ | -10. $71,4 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ |

- | | |
|--|---|
| 11. $47,16 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ | 12. 0,309 M |
| 13. $55,2 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ | 14. 0,114 M |
| 15. $6,68 \cdot 10^{-9}$; $1,316 \cdot 10^{-8}$; $1,608 \cdot 10^{-8} \text{ kmol.m}^{-2}$ | |
| 16. $5,99 \cdot 10^{-9}$; $1,21 \cdot 10^{-8}$; $1,56 \cdot 10^{-8} \text{ kmol.m}^{-2}$ | |
| 17. $-1,17 \cdot 10^{-8} \text{ kmol.m}^{-2}$ | 18. $-3,65 \cdot 10^{-9} \text{ kmol.m}^{-2}$ |
| 19. $8,44 \cdot 10^{-9} \text{ kmol.m}^{-2}$ | 20. $5,88 \cdot 10^{-9} \text{ kmol.m}^{-2}$ |
| 21. a = 5 n = 1- | 22. a = 7,94 n = 11 |
| 23. a = 1,928 n = 1,197 | 24. $1,187 \cdot 10^{-2} \text{ kg.kg}^{-1}$ |
| 25. $7,73 \cdot 10^{-9} \text{ kmol.m}^{-2}$ | 26. $2,86 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$; $5,17 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ |
| 27. $2,09 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$ | 28. $4,94 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ |
| 29. $0,186 \text{ dm}^3$ | 30. $6,23 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$ |
| 31. $451,5 \text{ m}^2$ | 32. 77,1 mg |
| 33. 284 min | 34. 0,612 t |
| 35. 21,5 | 36. $10,486 \text{ kJ.mol}^{-1}$ |
| 37. $28,509 \text{ kJ.mol}^{-1}$ | 38. 22 kJ.mol^{-1} |
| 39. 3,8 | 40. 3,16 |
| 41. 1,6 | 42. 3,7 |

II. Dispersssete süsteemide molekulaarkineetilised ja optilised omadused

- | | |
|--|---|
| 43. $9,27 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; $4,29 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ | |
| 44. $2,16 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ | 45. $5,04 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ |
| 46. $1,56 \cdot 10^{-5}$; $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ N.s.m}^{-2}$ | |
| 47. 4 : 1 | 48. $1,12 \cdot 10^{-5}$; $3,53 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ |
| 49. 1,5 korda | 50. $1,06 \cdot 10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$ |
| 51. 3,7 korda | 52. 1 : 5 |
| 53. 20 | 54. $1,27 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ |
| 55. $4,59 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ | 56. $5,72 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ |
| 57. $3,19 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ | 58. $4,84 \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$ |
| 59. $1,11 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ | 60. 69,3 mm |
| 61. $3,51 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ | 62. 5,31 km |
| 63. 6,27 km | 64. 7173,9 Pa |
| 65. 1230,3 m | 66. 99310 Pa |
| 67. 5025,7 m | 68. 4415,3 Pa |
| 69. 11,31 Pa; $1,686 \cdot 10^6$ | 70. 13 |
| 71. $6,69 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ | 72. $2,12 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ |
| 73. $7,69 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ | 74. $0,86 \text{ kg.m}^{-3}$ |
| 75. C_6H_6 vees 1,67 korda | 76. Bensiin vees; 2,76 korda |

77. Sinine, 9,76

79. $1,97 \cdot 10^{-7}$ m

81. $5,55 \cdot 10^{-8}$ m

78. 5

80. $5,75 \cdot 10^{-9}$ m

82. $1,21 \cdot 10^{-7}$ m

III. Kolloidlahuste valmistamine. Mitselli ehitus.

Elektrokiineetilised nähtused. Koagulatsioon

83. anoodile

85. $< 80 \cdot 10^{-6}$ m³

87. "-"

89. —

91. Na₂SO₄

93. Ba(NO₃)₂

95. AlCl₃

97. "-"

99. AgNO₃

101. 0,21 mol.m⁻³

103. $2,08 \cdot 10^{-9}$ m.s⁻¹

104. $4,17 \cdot 10^{-2}$ v

106. $1,17 \cdot 10^{-1}$ v

108. $2,32 \cdot 10^{-2}$ v

110. $1,67 \cdot 10^{-2}$ v

112. $3,93 \cdot 10^{-2}$ v

114. $4,18 \cdot 10^{-1}$ v

116. 5,1; 41,7; 407,3 korda

117. $K_{eks} = 6,13 \cdot 10^{-18}$ m³.s⁻¹

$K_{teor} = 503 \cdot 10^{-18}$ m³.s⁻¹

119. 351s

121. Väheneb 2,7; 6,0; 9,4;

12,7; 17,7 korda

84. "+"

86. $> 6 \cdot 10^{-6}$ m³

88. —

90. —

92. AlCl₃

94. —

96. K₂SO₄

98. $9,963 \cdot 10^{-6}$ m³

100. 1,61 mol.m⁻³

102. $86,76 \text{ mol.m}^{-3}$; $4,8 \text{ mol.m}^{-3}$;

$0,32 \text{ mol.m}^{-3}$

105. $1,29 \cdot 10^{-2}$ m

107. $4,16 \cdot 10^{-5}$ m

109. $2,02 \cdot 10^{-4}$ m³

111. $1,29 \cdot 10^{-2}$ m³

113. $6,75 \cdot 10^{-2}$ v

115. $8,37 \cdot 10^{-3}$; $1,67 \cdot 10^{-2}$;

$2,37 \cdot 10^{-2}$; $2,58 \cdot 10^{-2}$ v

118. 71,7; 77,1; 81,6; 95,5;

94,2; 100,6; Ei kehti

120. $K = 4,88 \cdot 10^{-18}$ m³.s⁻¹

122. Ei kehti

IV. Kõrgmolekulaarsete ühendite omadusi

123. 2,915; 1,915

125. 24,7 s

127. $1,5 \cdot 10^{-8}$ m³.s⁻¹

129. $2,285 \cdot 10^{-3}$ m³

131. 70000

133. 2646

135. $1,42 \cdot 10^5$ ($1,78 \cdot 10^5$; $1,27 \cdot 10^5$; $1,26 \cdot 10^5$)

124. 9,03 min

126. 10,6 s

128. $9,35 \cdot 10^{-1}$ N.s.m⁻²

130. 40000

132. 129000

134. 1251

- 136. 0,1
- 138. 0,125
- 140. 49500
- 142. $3,57 \cdot 10^5$
- 144. $0,0001^0$
- 146. $2,7 \cdot 10^4$
- 148. $3,57 \cdot 10^5$
- 150. $1,515 \cdot 10^4$
- 152. "-"
- 154. "-"
- 156. 5,8
- 158. $2,43 \cdot 10^{-2}$; 1,06
- 159. $4,5 \cdot 10^{-6}$; 21
- 160. $8 \cdot 10^{-4}$; 1,5

- 137. 0,05
- 139. $1,403 \cdot 10^{-3}$ N.s.m⁻²
- 141. $9,23 \cdot 10^4$
- 143. $9,22 \cdot 10^4$
- 145. $1,99 \cdot 10^4$
- 147. $1,6 \cdot 10^4$
- 149. $9,35 \cdot 10^4$
- 151. anoodi
- 153. "0"
- 155. "+"
- 157. α_1 - katoodile
- α_2 - ei liigu
- β - anoodile

Tabelid

Tabel 1

Kasutatud füüsikalise-keemiliste suuruste tähistused
ja mõõtühikud

Kasu- tatud tähis	Nimetus	Mõõtühik
1	2	3
c	kontsentratsioon	kmol.m^{-3} ; mol.dm^{-3} ; kg.m^{-3}
d	tihedus	kg.m^{-3}
D	difusioonikoefitsient	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
g	raskuskiirendus	$9,806 \text{ m.s}^{-2}$
h	kõrgus, samba kõrgus	m
H	hägusus	m^{-1}
I	valguse intensiivsus	
	voolutugevus	A
K	dissotsiatsioonikonstant	
l, l ₀	pikkus, kihi paksus	m
L	koagulatsioonilävi	mol.m^{-3}
m	mass, aine hulk	kg
M	molekulimass	
n	tilkade arv	
N	osakeste arv	
N _A	Avogadro arv	$6,02.10^{26} \text{ kmol}^{-1}$ $6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$
p, p ₀	rõhk, normaalrõhk	Pa, 101325 Pa
Q _a	adsorptsiooni soojus	J.mol^{-1}
r	raadius	m
R	gaasi universaalkonstant	$8,314.10^3 \text{ J.deg}^{-1}.\text{kmol}^{-1}$ $8,314 \text{ J.deg}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
s	pindala	m^2
s ₀	eripind	m^{-1}
S	sedimentatsioonikonstant	
t	aeg	s
t, T	temperatuur	$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{K}$
u	liikumiskiirus	m.s^{-1}
v	ruumalaline kiirus	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$

T a b e l 1 (järg)

1	2	3
V	ruumala	m^3
z	iooni laeng	
x	kaugus	m
X	adsorptsiooni suurus	mol.kg^{-1}
Γ	adsorptsiooni suurus	$\text{kmol.m}^2; \text{mol.m}^{-2}$
Δ	keskmine nihe	m
ϵ	dielektriline läbitavus	
ϵ_0	vaakuumi dielektriline läbitavus	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$
ψ	elektrokinetiline potentsiaal	V
η	viskoossus	N.s.m^{-2}
κ	erijuhtivus	S.m^{-1}
λ	lainepikkus	m
π	osmootne rõhk	Pa
σ	pindpinevus	$\text{N.m}^{-1}; \text{J.m}^{-2}$
τ	poolestusaeg	s
φ	ruumalaline osa	m^3
χ	potentsiaaligradient	V.m^{-1}
ω	nurkkiirus	rad.s^{-1}

T a b e l 2

Koefitsiendid üleminekuks CGS-süsteemist SI-süsteemi

Suurus	CGS	SI	Koefitsient
Kontsentratsioon (c)	g.ml ⁻¹	kg.m ⁻³	10 ³
	g(100 ml) ⁻¹	kg.m ⁻³	10
	mol.l ⁻¹	kmol.m ⁻³	1
Ruumala (V)	ml	m ³	10 ⁻⁶
	l	m ³	10 ⁻³
Mass (m)	g	kg	10 ⁻³
Tihedus (d)	g.cm ⁻³	kg.m ⁻³	10 ⁻³
Eripind (s ₀)	cm ⁻¹	m ⁻¹	10 ⁻²
Rõhk (p)	torri	Pa	133,322
	mm Hg sammast	Pa	133,322
	mm H ₂ O sammast	Pa	9,806
	kg.sm ⁻²	Pa	9,806.10 ⁴
	g.cm ⁻²	Pa	98,06
	dn.cm ⁻²	Pa	10 ⁻¹
	dn	N	10 ⁵
Jõud (F)	dn	N	10 ⁵
Viskoossus (η)	puaas=dn.s.cm ⁻²	N.s.m ⁻²	
	=g.cm ⁻¹ .s ⁻¹	=kg.m ⁻¹ .s ⁻¹	10 ⁻¹
Pindpinevus (σ)	erg.cm ⁻²	J.m ⁻²	
	dn.cm ⁻¹	N.m ⁻¹	10 ⁻³
Adsorptsioon (Γ)	mol.cm ⁻²	kmol.m ⁻²	10
	mg.g ⁻¹	kg.kg ⁻¹	10 ⁻³
	mmol.g ⁻¹	kmol.kg ⁻¹	10 ⁻³

Tabel 3

Tähtsamaid füüsikalisi suursi

Konstandi nimetus	Tähis	Väärtus SI süsteemis	Teisi väärtusi
Avogadro arv	N_A	$6,02 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Raskuskiirendus	g	$9,806 \text{ m.s}^{-2}$	$980,6 \text{ cm.s}^{-2}$
Elektriline konstant	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$	-
Normaalrõhk	p_0	101325 Pa	1 atm, 760 mm Hg
Universaalne gaasikonstant	R	$8,314 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kmol}^{-1}$	$1,987 \text{ cal.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ $0,082 \text{ dm}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ $8,314 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ $8,314 \cdot 10^7 \text{ erg.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
Moolruumala	V_0	$22,41 \text{ m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$	$22,41 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
Faraday arv	F	96485 C.mol^{-1}	-

Tabel 4

Vee pindpinevus (J.m^{-2}) erinevatel temperatuuridel

Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	$6 \cdot 10^3$	Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	$6 \cdot 10^3$	Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	$6 \cdot 10^3$
0	75,64	16	73,34	24	72,13
5	74,92	17	73,19	25	71,97
10	74,22	18	73,05	26	71,82
11	74,07	19	72,90	27	71,66
12	73,93	20	72,75	28	71,50
13	73,78	21	72,59	29	71,35
14	73,64	22	72,44	30	71,18
15	73,49	23	72,28		

Tabel 5

Vedelike viskoossusi (N.s.m^{-2}) erinevatel temperatuuridel

Temperatuur $^{\circ}\text{C}$	H_2O	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	C_6H_6
15	$1,1650 \cdot 10^{-3}$	$6,250 \cdot 10^{-4}$	$6,980 \cdot 10^{-4}$
16	$1,1325 \cdot 10^{-3}$	$6,132 \cdot 10^{-4}$	$6,850 \cdot 10^{-4}$
17	$1,1025 \cdot 10^{-3}$	$6,055 \cdot 10^{-4}$	$6,765 \cdot 10^{-4}$
18	$1,0740 \cdot 10^{-3}$	$5,990 \cdot 10^{-4}$	$6,660 \cdot 10^{-4}$
19	$1,0480 \cdot 10^{-3}$	$5,918 \cdot 10^{-4}$	$6,560 \cdot 10^{-4}$
20	$1,0210 \cdot 10^{-3}$	$5,850 \cdot 10^{-4}$	$6,470 \cdot 10^{-4}$
21	$9,97 \cdot 10^{-4}$	$5,780 \cdot 10^{-4}$	$6,380 \cdot 10^{-4}$
22	$9,725 \cdot 10^{-4}$	$5,712 \cdot 10^{-4}$	$6,290 \cdot 10^{-4}$
23	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$5,642 \cdot 10^{-4}$	$6,205 \cdot 10^{-4}$
24	$9,28 \cdot 10^{-4}$	$5,571 \cdot 10^{-4}$	$6,110 \cdot 10^{-4}$
25	$9,075 \cdot 10^{-4}$	$5,500 \cdot 10^{-4}$	$6,010 \cdot 10^{-4}$

Palm, U., Past, V. Füüsikaline keemia. - Tln.: Valgus, 1974.
- 502 lk.

Воицкий С.С. Курс коллоидной химии. - М.: Химия, 1975. 512 с.
Дипатников В.Е., Казаков К.М. Физическая и коллоидная химия.
- М.: Высшая школа, 1975. 200 с.

Писаренко А.П., Поспелова К.А., Яковлев А.Г. Курс коллоидной химии / Под ред. А.П.Писаренко. - М.: Высшая школа, 1964. 247 с.

Фридрихсберг Л.А. Курс коллоидной химии. - Л.: Химия, 1984. 368 с.

Фролов Н.Г. Курс коллоидной химии. - М.: Химия, 1982. 400 с.

Гамеева О.С. Сборник задач и упражнений по физической и коллоидной химии. - М.: Высшая школа, 1974. 272 с.

Маколкин И.А., Шмелев Б.А. Сборник примеров и задач по физической и коллоидной химии. Росвузиздат, 1963. 182 с.

Шутова А.И. Задачник по коллоидной химии. - М.: Высшая школа, 1966. 88 с.

S i s u k o r d

I. Pindnähtused ja adsorptsioon	3
II. Disperssete süsteemide molekulaarkineetilised ja optilised omadused	14
III. Kolloidlahuste valmistamine. Mitselli ehitus. Elektrokinetilised nähtused. Koagulatsioon..	24
IV. Kõrgmolekulaarsete ühendite omadusi	32
Ülesannete vastused	42
Tabelid	46
Kirjandus	51

10 kop.